



Evaluation des impacts environnementaux de filières énergie : vers une approche intégrée

Isabelle Blanc

► To cite this version:

Isabelle Blanc. Evaluation des impacts environnementaux de filières énergie : vers une approche intégrée. Energie électrique. Université de Savoie, 2010. tel-00517990

HAL Id: tel-00517990

<https://theses.hal.science/tel-00517990>

Submitted on 16 Sep 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**Evaluation des impacts
environnementaux de filières énergie :
vers une approche intégrée**

**HABILITATION A DIRIGER LES
RECHERCHES**

Spécialité : Energétique, Génie des Procédés

Isabelle SOMMEREUX, ép. BLANC

Mémoire d'Habilitation à Diriger les Recherches

Soutenue le 19 juillet 2010, devant le jury :

Suren ERKMAN	Professeur, Université de Lausanne	Rapporteur
Daniel FROELICH	Professeur, Arts et Métiers ParisTech Chambéry	Rapporteur
Christophe MENEZO	Professeur, Université de Savoie	Rapporteur
Gilbert ACHARD	Professeur Emérite, Université de Savoie	Président
Lucien WALD	Directeur de Recherches, MINES ParisTech	Examineur
Eric PEIRANO	H.D.R., ADEME	Examineur
Dominique MILLET	Professeur, SupMeca Toulon	Examineur

Collège doctoral de l'Université de Savoie
Université de Savoie

Remerciements

Cette habilitation à diriger les recherches concrétise une étape de mon parcours mené depuis de nombreuses années au sein de plusieurs centres de recherche.

Cette habilitation a été soutenue à l'Université de Savoie que je remercie particulièrement pour le crédit qui m'a été accordé pour l'obtention de ce diplôme universitaire. Je suis très reconnaissante pour le soutien scientifique apporté par Gilbert Achard du LOCIE, Professeur Emérite, qui a été mon mentor avec beaucoup d'engagement.

Ces travaux de recherche sur l'évaluation des impacts environnementaux ont été menés avec la collaboration fructueuse de nombreux collègues parmi lesquels je veux citer Bruno Peuportier, Guy Landrieu, Alice Pereira, Eric Labouze, Nicolas Antheaume, Elizabeth Payeux, Frédéric Piguet, Suren Erkman, Damien Friot, Olivier Jolliet, Manuele Margni, Tourane Corbière-Nicollier, Pascale Schwab-Castella, Marcel Gomez-Ferrer, Julia Steinberger et Didier Beloin-Saint-Pierre.

La stimulation scientifique du Centre Energétique et Procédés de MINES ParisTech a été particulièrement propice pour la rédaction de ce mémoire avec le regard toujours avisé de Lucien Wald et de Thierry Ranchin qui ont su m'aider à façonner l'argumentation de ma réflexion avec justesse.

La discussion scientifique établie avec les rapporteurs du jury, Suren Erkman, Daniel Froelich et Christophe Menezo ainsi qu'avec les examinateurs, Dominique Millet et Eric Peirano s'est montrée très enrichissante et source de pistes prometteuses pour l'avenir. Un grand merci à mes trois rapporteurs pour leur très grande réactivité.

Beaucoup de ces travaux ont bénéficié du soutien de la Commission Européenne, de l'ADEME et d'industriels vigilants au développement soutenable.

Enfin ce mémoire n'aurait pas été « soutenable » de mon côté sans l'appui permanent et solide d'Emmanuel et de la joyeuse tribu de la famille Blanc.

A tous un grand merci !

Sommaire

1	Introduction.....	7
2	Démarche vers une évaluation intégrée des impacts environnementaux	9
3	L'ACV, outil d'évaluation des impacts environnementaux : intérêt et limites.....	13
3.1	L'analyse de cycle de vie en bref	13
3.2	Le secteur du bâtiment	14
3.3	Couplage de l'évaluation environnementale à l'évaluation économique : exemple du transport ferroviaire	15
4	Indicateurs de développement durable et l'évaluation des impacts environnementaux	17
4.1	Développement d'un nouvel indicateur de durabilité des régions européennes	17
4.2	Analyse des seuils de durabilité d' indicateurs de développement durable : l'empreinte écologique et le « Environmental Performance Index »	19
4.2.1	L'empreinte écologique.....	20
4.2.2	L'Indicateur de Performance Environnementale (EPI).....	25
4.2.3	Conclusion.....	28
5	Evaluation des méthodes de comptabilité environnementale face au défi de la mondialisation : élaboration d'un nouveau cadre d'analyse	31
5.1	Archétype d'EAM	32
5.2	Formulation d'un nouveau cadre analytique d'évaluation des EAMs	33
5.3	Analyses des EAMs existantes : le cas de l'analyse de cycle de vie	36
5.4	Recommandations pour l'évaluation intégrée des impacts environnementaux	37
6	Vers une approche spatiale des impacts environnementaux	39
7	Valorisation des travaux de recherche	43
7.1	Publications	43
7.2	Distinctions.....	43
7.3	Irrigation du tissu économique	43
8	Animation de la recherche	45
8.1	Interne aux laboratoires	45
8.2	Externe au laboratoire	45
9	Activités d'enseignement.....	47
9.1	Encadrement en 3 ^{ème} cycle	47
9.2	Enseignements.....	48
10	Responsabilités administratives	51
11	Conclusions & Perspectives	53
	Annexe 1 : Curriculum vitae	59
	Annexe 2 : Liste détaillée des publications.....	65
	Annexe 3 : Publications choisies	77

Liste des Figures

Figure 1: Le concept DPSIR	9
Figure 2: Cadre d'un ACV selon la norme ISO 14040.....	13
Figure 3: Couplage de l'approche TCM et de l'approche ACV	16
Figure 4: Facteurs de pondération par polluant (DALY / personne / ng/m^3).....	18
Figure 5: Rang de 15 pays européens pour un indicateur composite de qualité de l'air selon 2 techniques d'agrégation : (1) normalisation associée à une moyenne arithmétique, (2) moyenne pondérée par les DALYs.	19
Figure 6: Empreinte Ecologique mondiale 2009.....	23
Figure 7: Archétype d'une EAM	32
Figure 8: Proposition d'un cadre analytique d'évaluation des méthodes de comptabilité environnementale	35
Figure 9: Empreinte carbone d'un système photovoltaïque européen (sans recyclage)	40
Figure 10: Principe du développement d'une plateforme d'évaluation intégrée des impacts environnementaux pour la mise au point de scénarios prospectifs de filières énergétiques à l'échelle mondiale (Projet FP7 EnerGEO).....	57

Liste des Tableaux

Tableau 1: Construction de l'indice EPI.....	26
--	----

1 Introduction

Mes activités de recherche et d'enseignement effectuées successivement au sein de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), de l'Université de Lausanne (UNIL), et de MINES ParisTech, contribuent au développement d'une approche intégrée pour l'évaluation des impacts environnementaux liés à la production et à la consommation de biens et de services.

Cette périphrase « évaluation des impacts environnementaux liés à la production et à la consommation de biens et de services » comporte plusieurs termes. Chacun d'entre eux soulève de nombreuses questions, leur combinaison en soulève encore d'autres.

L'évaluation des impacts environnementaux est une activité établie depuis plusieurs décennies. Une évaluation des impacts environnementaux repose sur la définition d'indicateurs de développement durable qui sont des outils indispensables à toute démarche proactive d'éco-conception et à l'établissement de politiques publiques pertinentes de développement durable. De nombreux indicateurs existent à l'heure actuelle et couvrent de larges domaines allant de l'économie à l'innovation en passant par l'environnement. Néanmoins le cadre méthodologique servant de support aux développements de ceux-ci n'a pas encore atteint un niveau de maturité satisfaisant, à en juger par les polémiques sur plusieurs indicateurs. J'estime que la faiblesse, voire l'absence, de ce cadre et de l'expression des concepts, est en grande partie responsable de cette insuffisance. Trop souvent, les questions suivantes sont négligées : quel référentiel ? Quel concept de durabilité ? Pour quel usage ? Quelle échelle spatio-temporelle ? Quels utilisateurs ?

L'évaluation des impacts environnementaux a généralement porté sur des phénomènes et processus de portée locale ou nationale. L'émergence de la mondialisation et des questions liées au changement climatique oblige les chercheurs et les praticiens à dépasser les modes d'évaluation environnementale classique. Les transgressions frontalières des processus de production et de consommation ont mondialisé l'enjeu de développement durable. Cet objectif de consommation et de production durables à l'échelle de la planète nécessite de mieux connaître et de prendre en compte de manière comptable tant le commerce international que le transfert des polluants et des impacts environnementaux. L'exportation de substances polluantes, telles que les déchets toxiques par exemple, est une pratique visible d'exportation de dommages environnementaux. Elle est clairement répertoriée en tant que telle et il est possible d'y associer les impacts environnementaux « exportés » de manière évidente. Les impacts environnementaux liés à la production de biens importés et exportés ne sont, par contre, pas encore clairement identifiés et ne font pas l'objet d'analyse systématique ni de comptabilité environnementale spécifique. La croissance des importations européennes en provenance de Chine ou d'Inde, par exemple, contribue à une exportation ou à une délocalisation des impacts environnementaux.

L'émergence de nouvelles problématiques liées à cette globalisation des échanges souligne les limites des modèles encore récents et « statiques » de modélisation des impacts environnementaux. Elle incite à s'orienter vers des approches dites « intégrées » qui considèrent les dimensions spatiales et temporelles et leurs liens directs avec la société et l'économie.

Dans un contexte d'échanges de biens et de services à l'échelle mondiale, l'enjeu de l'évaluation de ces impacts environnementaux consiste à répondre aux questions suivantes :

- Quel impact environnemental ?
- Pour quelle demande ou consommation ?
- En quel lieu géographique ?
- A quel instant ou à quelle échelle de temps ?

Mes recherches visent à apporter des éléments de réponses à ces questions afin de contribuer d'une part au développement de méthodes d'évaluation, et, d'autre part, à l'accroissement de la qualité des évaluations. J'espère ainsi aider à la définition de stratégies de minimisation de ces impacts utiles aussi bien au niveau des politiques publiques qu'au niveau industriel.

Mes travaux s'appuient sur trois éléments fondateurs, dont l'importance relative peut, et a pu, varier selon mon niveau de connaissance et de réflexion :

- le concept de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) de filières et de produits industriels que j'ai contribué à élargir avec la prise en compte des aspects géographiques et temporels des impacts environnementaux,
- la vision mondialisée du binôme consommation/production et la compréhension de l'éclatement spatial des chaînes de production/consommation à travers le monde.
- la visualisation spatiale et la géographie numérique permettant l'intégration/fusion des indicateurs environnementaux avec des données de type économique et social. Celles-ci sont indispensables à l'évaluation de scénarios prospectifs de développement intégrant la localisation géographique des impacts environnementaux.

Ce document présente la synthèse de mes activités de recherche, de valorisation, de formation et d'animation dans le cadre du développement d'une approche intégrée d'évaluation des impacts environnementaux pour les filières énergétiques. Les filières énergétiques sont identifiées comme les plus grandes contributrices aux impacts environnementaux des secteurs industriels et sont donc primordiales dans le bilan global résultant de l'économie mondiale.

2 Démarche vers une évaluation intégrée des impacts environnementaux

Mes travaux s'inscrivent dans une logique de définition d'un cadre conceptuel de référence pour l'évaluation intégrée des impacts environnementaux, adapté aux enjeux actuels, et de sa mise en place progressive. L'innovation majeure concerne l'intégration de cette évaluation au sens du lien avec l'environnement socio-économique ancré dans une réalité spatio-temporelle.

Cette approche intégrée repose sur l'appropriation d'un nouveau concept : le DPSIR¹ initialement développé par l'Agence Environnementale Européenne² et l'OCDE. Il s'agit d'un concept puissant, car il structure bien les liens entre la consommation et les effets et impacts environnementaux. Le concept DPSIR permet de présenter simplement les différents phénomènes et forces en jeux, et leurs interactions dans l'espace et le temps. La Figure 1 illustre ce concept qu'il est plus facile d'expliquer en partant du coin supérieur gauche « Drivers ». « Drivers » représente les forces humaines sous-jacentes (« Driving forces »). Le système est supposé fermé, en ce sens qu'il n'accepte pas de forces naturelles de longue durée ou de portée mondiale, comme la chute d'un astéroïde géant, qui n'aient pas de lien avec les activités anthropiques, comme peuvent l'être de nombreux changements climatiques et environnementaux. Ces forces entraînent des émissions, agissant comme des pressions (« pressures ») sur l'environnement. Ces pressions modifient l'état de l'environnement (« State of Environment »), modifications qui se traduisent en facteurs d'impact (« Environmental Impacts »). Des réponses (« Response ») peuvent être apportées par l'homme, qui viennent modifier les forces.

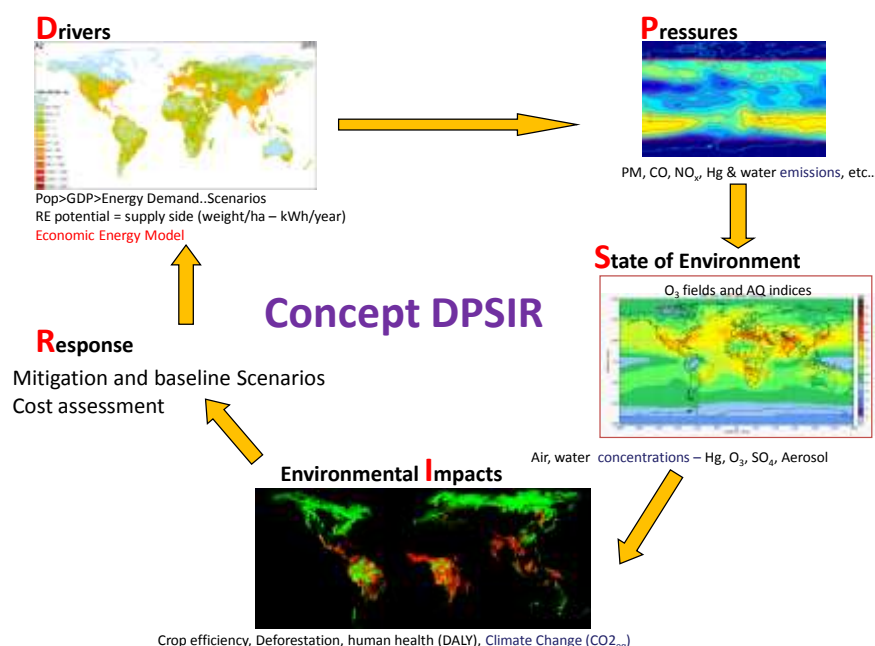


Figure 1: Le concept DPSIR

De manière pratique, l'implémentation de ce concept requiert l'usage de mesures, facteurs et indicateurs, par exemple, la demande en énergie fossile, le volume de gaz carbonique émis, la

¹ Driving-forces, Pressure, State, Impact, Response

² Air Pollution in Europe 1997 - EEA Environmental Monograph No. 4 : European Environmental Agency.
<http://www.eea.europa.eu/publications/92-9167-059-6-sum/page001.html>

concentration de ce gaz dans l'atmosphère, la température de l'air, et l'efficacité d'une taxe carbone. Le concept DPSIR permet de suivre les liens entre ces mesures, facteurs et indicateurs. Par exemple, le nombre de voitures par habitant (indicateur socio-économique de type forces humaines ou « Driving forces ») aura directement un impact sur le niveau d'émission de CO₂ émis dans l'atmosphère (indicateur environnemental de type pression ou « Pressure ») qui pourrait ainsi avoir une incidence sur la température moyenne mondiale (indicateur de type Impact), impact pouvant engendrer des réactions en terme de politique publique avec la mise en place d'une taxe carbone (indicateur de type réponse ou « Response »).

Ce concept DPSIR facilite la compréhension des interactions entre les indicateurs socio-économiques, environnementaux et politiques. Il structure et formalise le lien entre la source (la consommation ou la demande) et les impacts environnementaux. Comme le souligne l'IAEA dans son rapport récent sur les indicateurs relatifs à l'énergie³, définir des indicateurs selon ce cadre conceptuel est difficile à implémenter au niveau des pays mais le risque de s'en affranchir est de ne pas saisir ou comprendre la causalité des impacts environnementaux. C'est pourquoi je l'ai adopté dans ma démarche d'évaluation des impacts environnementaux.

En ce qui concerne l'évaluation elle-même, j'ai choisi une approche « cycle de vie », car elle est propice à une évaluation d'impacts environnementaux reliée à un besoin pour différentes filières énergétiques. L'évidence d'une évaluation intégrée selon cette approche résulte du cheminement effectué à partir de mes premiers travaux portant sur l'analyse de cycle de vie. L'application de l'approche « cycle de vie » à des domaines stratégiques à fort impact environnemental (le secteur du bâtiment, du transport ou celui de la production électrique par exemple) est indispensable pour permettre des prises de décision dans les politiques publiques et par le secteur privé. Cette approche permet en effet d'appréhender les impacts environnementaux sur le cycle de vie d'une filière industrielle dès la phase d'extraction des matériaux jusqu'à la phase de la fin de vie. Elle s'inscrit dans une démarche d'éco-conception innovante. Elle permet ainsi d'éviter des prises de décisions basées sur des informations restreintes à des phases du cycle de vie, inévitablement partiales et donc, sans vision globale des enjeux environnementaux.

Pour des raisons pratiques d'expression, j'utilise l'acronyme ACV pour désigner l'outil « analyse de cycle de vie » (en anglais LCA : life cycle analysis) et ABCV pour désigner l'approche « approche basée cycle de vie » (en anglais LCBA : life cycle-based approach).

Néanmoins, l'outil ACV porte sur la seule évaluation environnementale et ne permet pas d'appréhender la dimension spatio-temporelle de la réalité économique. J'ai conduit plusieurs recherches qui ont permis d'explorer les extensions et couplages nécessaires entre ACV et autres outils pour construire l'ébauche de cette évaluation intégrée. Par exemple, une première exploration du couplage des évaluations environnementale et économique s'est avérée concluante pour un exemple du secteur des transports ferroviaires. Par ailleurs, la question du repérage spatial des pressions (émissions de polluants) et de l'état de l'environnement (concentrations de polluants) est prépondérante en terme d'analyse de filières de production industrielle à l'heure de la mondialisation des échanges commerciaux et des délocalisations. Ce repérage spatial contribue à la compréhension des enjeux des impacts environnementaux à l'échelle planétaire et est indispensable à l'évaluation de scénarios prospectifs de

³ « Energy indicators for sustainable development : Guidelines and methodologies », IAEA, UN Department of economic and social affairs, IEA, Eurostat and EEA, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2005.

développement de filières industrielles. L'outil ACV n'a pas été développé à l'origine en intégrant cette géo-localisation des inventaires d'émission des polluants et celle des impacts : des extensions méthodologiques sont donc nécessaires.

L'intégration spatio-temporelle des impacts environnementaux au sein des ACV comporte des difficultés méthodologiques importantes, dont cinq limitations majeures:

- (1) l'absence de suivi et de traçage complet des filières internationales par une géo-localisation des inventaires d'émissions,
- (2) la perte de localisation géographique et de repérage temporel de ces impacts qu'ils soient directs ou indirects sur le cycle de vie.
- (3) l'accessibilité non systématique à la qualité des résultats et aux méthodes de qualification (imprécision du domaine de validité spatio-temporelle et des limites du système considéré, absence fréquente du niveau d'incertitude associé aux résultats),
- (4) la relative faiblesse d'identification et de définition des indicateurs d'impacts locaux en lien avec les exigences d'indicateurs de développement durable correctement identifiés comme tels
- (5) le décalage temporel existant entre les bornes du cycle de vie effectives des filières étudiées et la validité temporelle des indicateurs d'impacts actuellement considérés⁴.

Ces points critiques relatifs aux ACV handicapent cet outil méthodologique en tant qu'outil d'évaluation du développement durable et des efforts significatifs de recherche ont été mis en place depuis plusieurs années. Mes travaux ont été jalonnés par la recherche de solutions méthodologiques originales et opérationnelles relatives au développement d'indicateurs d'impacts géo-localisés pertinents (limitations 1 et 2) et à la qualification des données (limitation 3).

Mes travaux sur l'intégration de la localisation des impacts environnementaux et de leur visualisation spatiale pour l'ACV ont été appliqués sur le cas particulier d'une filière d'énergie renouvelable, la filière photovoltaïque. Mes travaux relatifs à la qualification des données des inventaires des ACV ont été initiés dans le cadre d'un projet de recherche pour l'association RE.CO.R.D⁵. Cette réflexion se poursuit et elle constitue une perspective significative de mes travaux (voir p. 53). Les limitations 4 et 5 font l'objet de nouvelles perspectives à venir pour mes travaux de recherche.

Le présent document retrace les étapes successives pour conduire cet axe de recherche visant à la définition d'un cadre conceptuel de référence pour l'évaluation intégrée des impacts environnementaux. J'ai choisi de présenter les plus significatives :

- l'ACV comme outil d'évaluation environnementale des bâtiments (chapitre 3.1),
- le couplage méthodologique d'approches environnementale et économique pour le transport ferroviaire (chapitre 3.3),
- le développement de nouveaux indicateurs de durabilité environnementale à l'échelle des régions européennes (chapitre 4.1),

⁴ Le cas de la durée de vie des déchets radioactifs ou la problématique temporelle du changement climatique – Levasseur, A., Leasge, P., Margni, M., Deschenes, L., Samson, R., Considering time in LCA : Dynamic LCA and Its Application to Global Warming Impact Assessments, *Environ. Sci. Technol.* **2010**, 44, pp 3169-3174.

⁵ Rousseaux, P., Labouze, E., Young-Jin Suh, Blanc, I., Gaveglia, V., Navarro, A., « An overall assessment of Life Cycle Inventory Quality – application to the production of polyethylene bottles », *International Journal of LCA*, **2001**, Vol 6, n°5 pp. 299-306.

- la discussion sur la signification des cibles ou seuils de durabilité de deux indices de durabilité phares (chapitre 4.2),
- l'évaluation des méthodes de comptabilité environnementale face au défi de la mondialisation (chapitre 5),
- l'approche géo-spatialisée d'impacts environnementaux au travers de l'exemple d'un système de production électrique photovoltaïque en France (chapitre 6).

Ma réflexion dessinant les contours de cette approche intégrée s'est traduite par l'écriture d'articles décrivant les concepts, les difficultés méthodologiques et les solutions dans différents domaines (bâtiment, infrastructure routière et ferroviaire, système photovoltaïque intégré). Cette réflexion a été menée en collaboration directe avec de nombreux partenaires scientifiques et industriels, y compris au niveau international, appliquant directement ces approches méthodologiques en terme de décision d'éco-conception (comme par exemple avec l'institut ferroviaire en Corée, le KKRI, ou avec AIRBUS).

La diffusion de mes travaux s'est également traduite au travers d'enseignements dans des formations de 3^{ème} cycle en France à MINES Paris Tech et à l'international (en Suisse à l'EPFL et à l'Université de Lausanne). Mes travaux sur l'ACV ont de plus contribué aux réflexions menées dans le cadre de la normalisation internationale sur l'analyse de cycle de vie (les impacts environnementaux au sein de l'ISO 14 040) pendant plusieurs années (1993-1998). Plus récemment, mes résultats ont été pris en compte lors du débat mené en France début 2009 par le CESE⁶ sur l'empreinte écologique. Cet indicateur de durabilité avait été pressenti dans le cadre d'un projet de loi⁷ mais, reconnaissant son caractère très controversé, le CESE a recommandé son abandon au profit d'un indicateur de type empreinte carbone.

⁶ CESE : Conseil Economique, Social et Environnemental

⁷ Proposition de loi tendant à réduire l'empreinte écologique de la France, du 6 janvier 2009, n°1369.

3 L'ACV, outil d'évaluation des impacts environnementaux : intérêt et limites

3.1 L'analyse de cycle de vie en bref

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est un outil d'aide à la décision systémique qui permet d'avoir une vue d'ensemble sur les impacts environnementaux de produits ou de services.

Cette méthode, régie par la norme internationale (ISO 14040⁸), permet d'évaluer les impacts environnementaux et les performances environnementales d'un produit ou d'une activité sur l'ensemble de son cycle de vie. Elle tient compte de l'extraction et du traitement des matières premières, des processus de fabrication, du transport, de la distribution, de l'utilisation, de la réutilisation du produit fini puis finalement, du recyclage et de la gestion des déchets en fin de vie.

La réalisation d'une ACV implique l'identification et la quantification des entrants et des sortants reliés au produit ou à l'activité, ainsi que l'évaluation des impacts potentiels associés à ces entrants/sortants. La Figure 2 présente le cadre d'une ACV, tel que décrite par l'ISO 14040 et 14044.

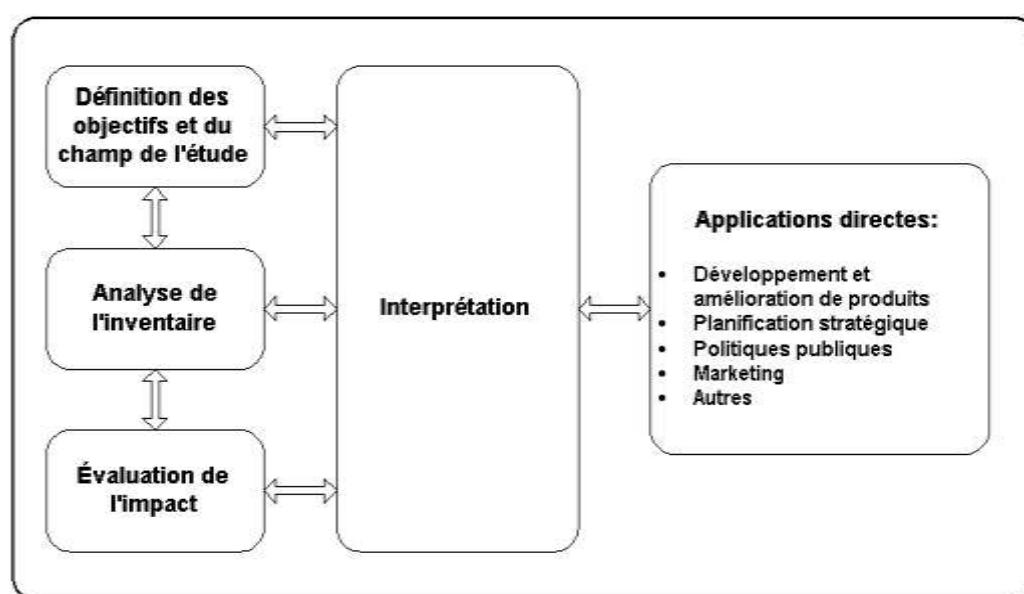


Figure 2: Cadre d'un ACV selon la norme ISO 14040

L'ACV permet de mettre en évidence des catégories de dommage environnemental imputables à ce produit/service, telles que la consommation de ressources non renouvelables, la contribution à l'effet de serre, les impacts sur la santé humaine, et les modifications apportées aux écosystèmes. Cette méthode d'analyse constitue un outil pour intégrer les problématiques du développement durable.

⁸ ISO 14040 : 2006, Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.

Cet outil fait l'objet de nombreux développements méthodologiques au niveau international avec notamment l'implication de la SETAC⁹, de l'UNEP et d'une plateforme ACV au sein du JRC¹⁰ à Ispra. Les forces et faiblesses de l'outil sont analysées au chapitre 5.3 au regard des exigences identifiées permettant d'appréhender la réalité de l'économie mondiale et des échanges induits sur les impacts environnementaux.

Pour introduire l'intérêt que représente l'ACV comme outil systémique d'évaluation des impacts environnementaux, je présente deux études qui constituent deux étapes significatives vers la constitution de ce cadre conceptuel de référence: l'ACV comme outil d'évaluation environnementale des bâtiments et le couplage méthodologique d'approches environnementales et économique pour le transport ferroviaire.

3.2 Le secteur du bâtiment

Le domaine du bâtiment est un thème qui fait partie de mes activités depuis 1985 avec le démarrage de mes activités de recherche aux Etats Unis au laboratoire d'énergie solaire de Madison à l'Université du Wisconsin. Le domaine du bâtiment a fait l'objet de mon DEA et celui de ma thèse qui portait sur l'étude du couplage dynamique de composant d'un bâtiment par synthèse modale¹¹. Mes travaux qui ont suivi cette thèse à l'INERIS, en partenariat avec MINES ParisTech, ont porté sur l'évaluation environnementale du bâtiment et ont permis d'initier un domaine qui s'est révélé particulièrement stratégique en terme d'enjeu pour le développement durable. En effet, le secteur du bâtiment est le premier secteur consommateur d'énergie en Europe avec environ 40 % de la consommation énergétique totale. L'optimisation des consommations de chauffage (et de climatisation) repose sur un choix pertinent de matériaux et une conception globale du bâtiment en lien avec les caractéristiques locales climatiques.

Les ACV permettent d'intégrer ces évaluations sur le cycle de vie total des bâtiments. L'innovation apportée par ces travaux consiste à coupler une ACV à un outil de simulation dynamique des performances thermiques des bâtiments¹². Cette simulation dynamique permet d'intégrer les performances des matériaux. Les performances thermiques et le confort thermique des bâtiments passent par la maîtrise de la caractéristique dynamique clé des matériaux : l'inertie. Ces performances et le niveau de confort ne peuvent être appréhendés qu'avec un outil de simulation dynamique comme l'outil EQUER¹³, développé à MINES ParisTech. Cet outil est largement utilisé actuellement par les architectes et concepteurs de bâtiment à faible impact environnemental.

Ce travail se poursuit actuellement avec une réflexion sur la recherche et l'amélioration d'indicateurs d'impacts environnementaux pertinents pour le domaine du bâtiment. De

⁹ SETAC: Society of Environmental Toxicology and Chemistry - <http://www.setac.org/node/365>

¹⁰ <http://lct.jrc.ec.europa.eu/>

¹¹ Blanc Sommereux, I., « Etude du couplage dynamique de composant d'un bâtiment par synthèse modale », Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1991.

¹² Peuportier B., Blanc Sommereux I. « Simulation tool with its expert interface for the thermal design of multizone buildings », *Int. J. Solar Energy*, **1990**, Vol 8, pp.109-120.

¹³ Polster B., Peuportier B., Blanc I., Diaz Pedregal P., Gobin C., Durand E., « Evaluation of the environmental quality of buildings towards a more environmentally conscious design », *Solar Energy*, **1996**, Vol 57, n°3, pp. 219-230.

nouvelles approches d'évaluation des impacts environnementaux portant sur la toxicité humaine et les écosystèmes sont actuellement en cours de développement et doivent être évalués pour le secteur du bâtiment. Le choix des matériaux pour la filière bâtiment¹⁴ est stratégique quant aux impacts environnementaux des bâtiments et la seule prise en compte de leurs performances statiques ne suffit pas pour rendre compte avec finesse de leur comportement transitoire (changement de saison, alternance jour/nuit par exemple pour des stratégies de climatisation passive).

L'Analyse de Cycle de Vie est une méthode qui se révèle effectivement très efficace pour le secteur du bâtiment dans une logique de bâtiment durable en permettant l'analyse des performances énergétiques et environnementales des modes constructifs sur le cycle de vie des bâtiments.

3.3 Couplage de l'évaluation environnementale à l'évaluation économique : exemple du transport ferroviaire

L'évaluation environnementale n'est certainement pas la seule dimension à appréhender dans une démarche de durabilité et d'éco-conception. Les contraintes économiques sont inhérentes à tout projet industriel et il est nécessaire d'intégrer celles-ci à toute démarche d'optimisation environnementale pour éviter tout risque de solution irréaliste. La mise au point du couplage de deux outils méthodologiques, l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) ou Life Cycle Assessment (LCA) en anglais, et la modélisation des coûts économiques de type « Technical Cost Modelling » ou « TCM », permet de répondre à cet enjeu d'optimisation environnementale intégrant les contraintes économiques.

Le concept de ce couplage a été défini de manière générique, afin de répondre à cette question méthodologique d'évaluation environnementale et économique couplées¹⁵. Une implémentation du concept a été faite dans le cadre d'un projet international d'éco-conception de train. Elle a permis de démontrer son potentiel et d'initier au sein de l'industrie ferroviaire un concept innovant portant sur une approche systémique de type cycle de vie (ABCV).

Le principe de ce couplage est illustré par la Figure 3. Il repose sur une modélisation commune et détaillée des processus impliqués sur toutes les étapes du cycle de vie. Pour chaque étape, le modèle de coûts (TCM) répertorie la consommation de matériaux et d'énergie nécessaire ainsi que la masse salariale nécessaire au regard des caractéristiques de chaque alternative du train. L'évaluation des coûts de fabrication (qui est fonction des volumes de production) est basée sur l'exploitation d'une base de données existante. La fonction coût/volume de production est établie sur la base de l'ensemble des coûts intégrant le coût du travail, les coûts de structure (gestion, usines), les coûts de maintenance, les coûts d'énergie, la sous-traitance, le transport.

¹⁴ Blanc, I., Peuportier, B., "Eco-design of buildings and comparison of materials", In Proceedings 1st International seminar on Society & Materials, SAM1, European Commission, Directorate general, Joint Research Center, Séville, 6-7 mars 2007.

¹⁵ Schwab Castella, P., Blanc, I., Gomez M., Ecabert, B., Wakeman, M., Manson, J.-A., Emery, D., Hong, J., Jolliet, J., "Integrating life cycle costs and environmental impacts of composite car-bodies for a Korean train", *International Journal of LCA*, **2009**, 14, n°5, pp.429-442.

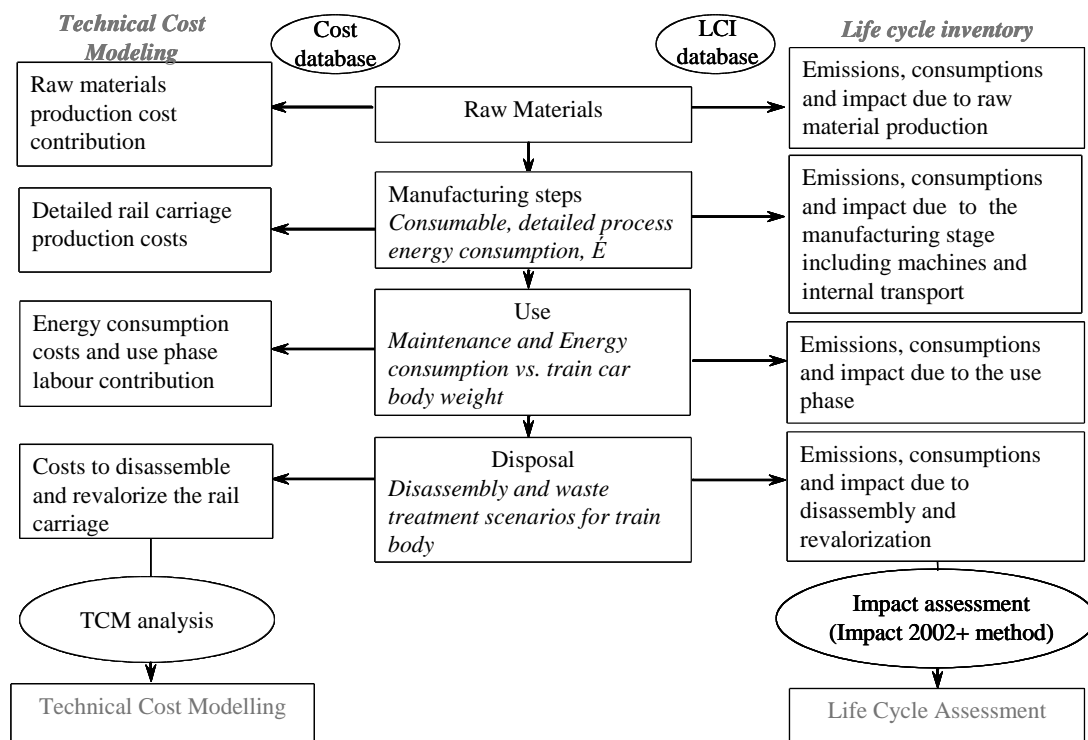


Figure 3: Couplage de l'approche TCM et de l'approche ACV

En parallèle l'exploitation d'une base de données d'inventaire de cycle de vie a permis d'évaluer les impacts environnementaux en se basant sur l'approche IMPACT 2002+. Ces impacts environnementaux sont évalués sur toutes les étapes du cycle de vie : extraction des matières premières, étapes de fabrication, production des wagons, phase d'utilisation du train et enfin scénarios de fin de vie.

Le couplage de ces deux approches a permis d'accéder à des résultats d'impacts environnementaux intégrant l'aspect économique sur l'ensemble du cycle de vie. La recherche d'une solution optimale basée sur des critères environnementaux et économiques est ainsi accessible. A titre d'illustration, la solution technique du choix de matériaux légers pour le cas du train en Corée a permis de montrer qu'il existait une solution optimale permettant de minimiser l'impact environnemental sur la durée de vie du train à moindre coût.

4 Indicateurs de développement durable et l'évaluation des impacts environnementaux

Mes travaux sur l'évaluation des impacts environnementaux se sont poursuivis avec une réflexion méthodologique sur la définition d'indicateurs d'impact du développement durable pertinents et adaptés aux enjeux actuels de la mondialisation.

Les indicateurs agrégés, ou composites, sont des outils synthétiques très utiles, qui peuvent servir à établir des performances par pays, et aider au développement de supports de politiques publiques. Les exemples d'indicateurs composites dans le domaine du développement durable et de l'environnement sont nombreux.

Le mode de calcul de ces indicateurs composites repose sur différentes étapes allant de la sélection des indicateurs pertinents, la normalisation/pondération de chaque indicateur jusqu'à l'agrégation finale¹⁶. Ces étapes font l'objet de nombreuses questions méthodologiques parmi lesquelles trois questions se révèlent clés :

- la méthode d'agrégation des indicateurs,
- l'interprétation des objectifs écologiques ou cibles de durabilité base de l'étape de normalisation de chacun des indicateurs,
- l'aptitude à tenir compte ou non de la « délocalisation » des impacts environnementaux (« leakage » en anglais)¹⁷.

Mes travaux ont abordé ces trois points avec le développement d'un indicateur de durabilité des régions européennes basé sur une nouvelle technique d'agrégation (chapitre 4.1), la discussion sur la signification des cibles ou seuils de durabilité permettant le décryptage des questions de recherche effectivement abordées par deux indices phares (l'empreinte écologique et l'indice de performance environnementale EPI, chapitre 4.2), et enfin l'élaboration d'un nouveau cadre méthodologique d'évaluation des méthodes de comptabilité environnementale dans le cadre de la mondialisation (chapitre 5).

4.1 Développement d'un nouvel indicateur de durabilité des régions européennes

Le mode de calcul des indicateurs agrégés ou composites souffre de robustesse méthodologique, particulièrement au niveau de l'agrégation des indicateurs. Des avancées méthodologiques sont nécessaires pour clarifier les hypothèses sous-jacentes de ces indicateurs et pour tirer parti des dernières techniques d'agrégations mises au point tout particulièrement dans le domaine de l'impact environnemental.

Mes travaux dans ce domaine m'ont permis de développer un nouveau type d'agrégation et par conséquent de mettre au point un nouvel indicateur de durabilité environnementale¹⁸. Cet

¹⁶ Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide, ISBN 978-92-64-04345-9, © OECD 2008.

¹⁷ Mayer, L., "Strengths and weaknesses of common sustainability indices for multidimensional systems", *Environment international*, 2008, 34, pp. 277-291.

indicateur a été défini et appliqué au sein du projet européen EPSILON¹⁹ visant à évaluer la durabilité des régions dans le cadre d'une politique européenne de soutien à l'amélioration du développement durable régional en Europe.

La durabilité de ces régions a été définie selon un cadre méthodologique cohérent avec la définition d'indicateurs de durabilité structurés selon 4 piliers: environnemental, économique, social et institutionnel. En ce qui concerne le pilier environnemental, le seul d'intérêt ici, le fondement méthodologique repose sur le principe analytique du DPSIR²⁰ couplé à un schéma innovant de pondération des indicateurs basé sur l'évaluation des impacts sur la santé humaine.

Les indicateurs environnementaux sont exprimés en concentrations de polluant et identifiés comme type « State » dans le cadre DPSIR. Le schéma d'agrégation s'appuie sur l'exploitation des propriétés de chaque polluant en terme d'impact potentiel sur la santé humaine. L'unité fédératrice ainsi définie est le DALY « Disability Adjusted Life Year ». Les DALYs correspondent aux années de vie potentiellement perdues induites par l'inhalation et l'absorption de ces polluants par une population moyenne. En appliquant le modèle IMPACT2002+ sur le territoire européen, la concentration de chaque polluant est exprimé en DALY par personne et par unité de concentration (Figure 4). Nous pouvons constater la très grande variabilité des résultats reflétant le caractère plus ou moins toxique sur la santé humaine de ces polluants atmosphériques: le DALY-équivalent pour la dioxine (PCDD/FS) est de l'ordre de 5 DALY/personne/ng/m³ alors que celui pour le plomb (Lead) est de l'ordre de 5.10⁻⁹ DALY/personne/ng/m³.

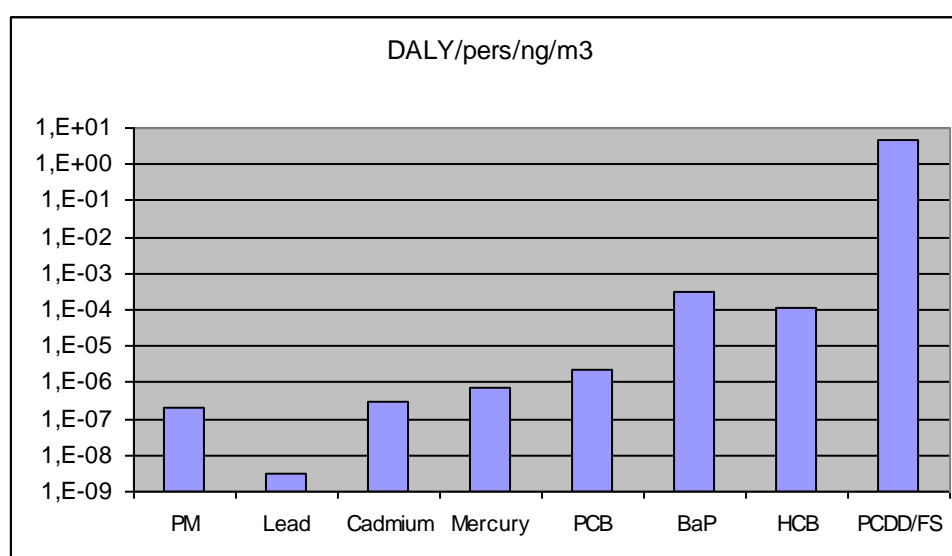


Figure 4: Facteurs de pondération par polluant (DALY / personne / ng/m³)

¹⁸ Blanc, I., Friot, D., Jolliet, O., Margni, M., « Towards a new index for environmental sustainability based on a DALY weighting approach», *Sustainable Development*, **2008**, 16, 251-260.

¹⁹ Blanc, I., Friot, D., Margni, M. and Jolliet O. "How to assess the Environmental State of EU regions with the global concept of sustainability?" In Proceedings ENVIROINFO Conference, ISBN: 28 29 30 275-3, Geneva, octobre 2004.

²⁰ Driving-forces, Pressure, State, Impact, Response.

Cette équivalence concentration-DALY est ensuite utilisée comme facteur de pondération de chaque polluant dans une somme pondérée des DALY-équivalents par polluant.

La comparaison de cette technique d'agrégation avec celle basée sur une approche purement arithmétique (normalisation de chaque indicateur suivie d'une moyenne arithmétique - technique courante dans la plupart des indicateurs composites actuels) a été faite au moyen du calcul de l'indicateur composite de qualité de l'air moyen annuel pour 15 pays européens. La Figure 5 qui présente le rang de ces 15 pays selon ces deux approches, permet de noter des différences significatives entre celles-ci, avec notamment le cas du Luxembourg dont le rang passe de la 9^{ème} place à la première.

Ces résultats démontrent l'intérêt d'adopter une agrégation pour un indice de pollution atmosphérique la plus représentative possible des impacts potentiellement constatés sur la santé humaine. En effet, la prise en compte des effets potentiels de la pollution atmosphérique sur la santé humaine rejoint les préoccupations actuelles de santé publique, tout comme ceux du tabac sur la santé humaine qui s'avèrent maintenant indiscutables.

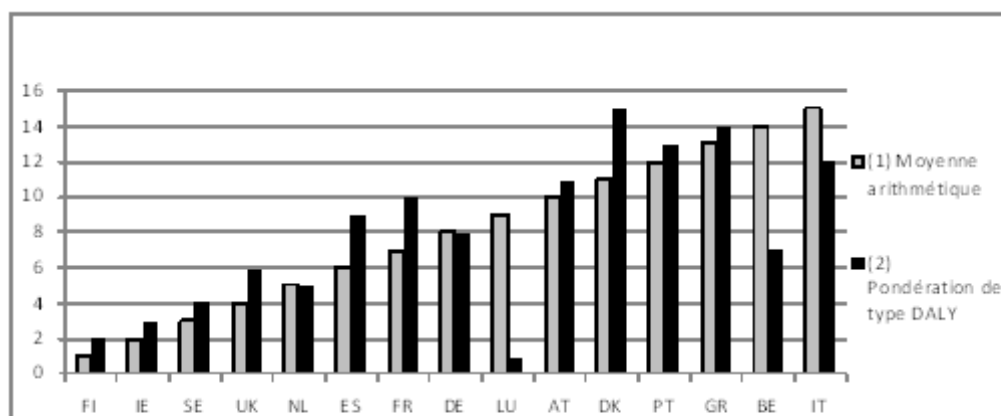


Figure 5: Rang de 15 pays européens pour un indicateur composite de qualité de l'air selon 2 techniques d'agrégation : (1) normalisation associée à une moyenne arithmétique, (2) moyenne pondérée par les DALYs.

4.2 Analyse des seuils de durabilité d'indicateurs de développement durable : l'empreinte écologique et le « Environmental Performance Index »

Il existe plusieurs exemples d'indicateurs composites dans le domaine du développement durable qui font l'objet de publications régulières faisant état des scores ou performances de durabilité des pays. Parmi les plus connus, citons l'empreinte écologique (EF) et l'EPI (Environmental Performance Index). L'écueil actuellement constaté pour les indices composites de durabilité réside dans l'absence de consensus quant à l'évaluation quantitative de la durabilité. Une question fréquente est celle de la pertinence de ces indices comme indicateur de durabilité permettant des comparaisons internationales.

Les cibles de durabilité, ou seuils écologiques, sont des paramètres clés dans le cadre d'une évaluation quantitative, transparente et objective. La compréhension de leurs modes de définition permet le décryptage des questions de recherche effectivement abordées par ces indices. Elle révèle ainsi la philosophie sous-tendue par les auteurs de ces indices. L'exploitation de ces indicateurs peut parfois induire en erreur si ces indicateurs composites sont mal compris, voire mal interprétés. Mes travaux visent ainsi à éclairer les utilisateurs potentiels de ces indices, sur leurs enjeux et les questions de recherche réellement appréhendées en se basant notamment sur l'analyse critique de ces seuils dits écologiques pour ces deux indicateurs.

4.2.1 L'empreinte écologique

En collaboration avec Frédéric Piguet de l'Université de Lausanne, une première réflexion méthodologique sur l'empreinte écologique a été initiée en 2007. Elle a été l'occasion d'échanges avec les auteurs de cette méthode. Un premier article discutant de la pertinence de cette approche en tant qu'indicateur de durabilité environnementale et de son unité de référence « l'hectare global » a été publié²¹. Cette discussion critique vise à resituer l'empreinte écologique dans son contexte et prendre acte de l'intérêt de cette approche et de ses limites -importantes- au sein des discussions actuelles sur les indicateurs de développement durable actuellement en cours de formalisation. Ces travaux ont permis de contribuer à la réflexion publique début 2009 mené en France dans le cadre d'une audition au CESE²² sur les indicateurs du développement durable et l'empreinte écologique. Cet indicateur de durabilité avait été pressenti dans le cadre d'un projet de loi²³ mais reconnaissant son caractère très controversé il a été finalement abandonné au profit d'un indicateur de type empreinte carbone. La recommandation n°7 du CESE donne ainsi dans l'immédiat, la priorité à un indicateur carbone jugé « raisonnable et adapté au défi immense qui attend l'humanité²⁴ ».

Qu'est-ce que l'empreinte écologique ? Quelle est sa dimension ?

L'empreinte écologique du *Global Footprint Network* (GFN) est un indicateur synthétique quantitatif, relatif aux surfaces biologiquement productives requises pour soutenir un niveau de consommation donné. Elle concerne six espaces : cultures, herbages, forêts, pêches, espaces construits et espace de séquestration du dioxyde de carbone. La méthode permet d'exprimer en une unité de surface normalisée, appelée hectare global, la consommation de ressources renouvelables (cultures, herbages, forêts, pêches).

L'empreinte écologique « mesure l'espace de terre et d'eau biologiquement productif requis pour produire toutes les ressources consommées par un individu, une population ou une activité, et pour absorber un déchet qu'elle génère, étant donné la technologie courante et les

²¹ Piguet, F, Blanc, I., Corbière-Nicollier, T, Erkman, S, « L'empreinte Ecologique : un indicateur ambiguë », *Futuribles*, Numéro 334, ISSN 0337 307 X, Octobre 2007.

²² CESE : Conseil Economique, Social et Environnemental

²³ Proposition de loi tendant à réduire l'empreinte écologique de la France, du 6 janvier 2009, n°1369.

²⁴ CONSEIL ECONOMIQUE SOCIAL ET ENVIRONNEMENTAL, « Les indicateurs du développement durable et l'empreinte écologique », avis présenté par Philippe Le Clézio, *Les éditions des journaux officiels*, 2009, n°15, NOR : C.E.S. X09000115V, p. 62.

pratiques de gestion des ressources »²⁵. Le seul déchet directement pris en compte est le dioxyde de carbone d'origine fossile, dont les émissions sont traduites en une surface de forêts. L'empreinte écologique est donc un indicateur spatial comparant des surfaces. Elle est d'une part, composée des surfaces nécessaires à la production de ressources renouvelables et d'autre part, des surfaces de forêts susceptibles de séquestrer du dioxyde de carbone que nous nommons empreinte carbone. Selon les chiffres publiés par le GFN, l'empreinte carbone équivaut à la moitié de l'empreinte totale.

L'empreinte écologique s'est progressivement imposée sur la scène médiatique, notamment parce qu'elle évalue et compare les différents niveaux de consommation des individus. Elle est également utilisée au plan régional dans le cadre d'évaluations environnementales. Cela étant, évaluer des activités pour mesurer leur emprise sur l'environnement est une chose, éditer des indicateurs de durabilité donnant une vision pertinente de l'emprise sur les ressources naturelles et les dommages écologiques à l'échelle internationale est une autre chose.

Quelle est la pertinence de l'empreinte écologique comme indicateur de durabilité permettant des comparaisons internationales ?

L'empreinte écologique fait l'objet d'une controverse scientifique depuis une dizaine d'années, c'est-à-dire depuis qu'elle a été présentée au sein de la communauté scientifique. Cette controverse est alimentée par des écoles de pensée différentes. Les critiques ont notamment mis en avant son absence de sensibilité quant à la prise en compte des spécificités du management local des ressources à l'échelle régionale²⁶, insisté sur son inutilité en regard des vraies questions écologiques²⁷, ou sur son incapacité à suivre la résolution des progrès vers le développement durable²⁸, et son manque de transparence²⁹, notamment quant à ces objectifs puisqu'elle ne distingue pas les questions d'équité et de durabilité écologique³⁰. Un autre auteur remarque que l'empreinte ne distingue pas entre l'usage durable et non durable de l'espace, une distinction qu'il considère essentielle pour tout indicateur destiné à piloter des politiques³¹. Une autre analyse critique montre que l'empreinte écologique employée comme indicateur de bioproduktivité peut mener à des politiques de gestion menaçant la santé des écosystèmes³². Nous avons-nous même souligné l'arbitraire de la conversion du carbone en hectare global dans l'article paru dans *Futuribles* et insisté sur la non pertinence sociale et

²⁵ GLOBAL FOOTPRINT NETWORK, *The ecological footprint atlas 2008*, version 1.0, pp. 3-4. The ecological footprint measures « the amount of biologically productive land and water area required to produce all the resources an individual, population, or activity consumes, and to absorb the waste they generate, given prevailing technology and resource management practices ».

²⁶ Wiedman T., Lenzen M., « On the conversion between local and global hectares in Ecological Footprint analysis, *Ecological Economics*, 60, 2007, 673-677.

²⁷ Ayres Robert U., « Commentary on the utility of the ecological footprint concept », *Ecological Economics*, 32, 2000, 347-349.

²⁸ Ledant J-P., « L'empreinte écologique : un indicateur de... quoi ? », *Institut pour un développement durable*, 2005, 19 p.

²⁹ Opschoor H., « The ecological footprint : measuring rod or metaphor ? », *Ecological Economics*, 32, 2000, 363-365.

³⁰ Costanza R., « The dynamics of the ecological footprint concept », *Ecological Economics*, 32, 2000, 341-345.

³¹ Van den Bergh J. C. J. M., Verbruggen Harmen, *Ecological Economics*, 29, 1999, 61-72. (p. 64).

³² Lenzen M., Hansson C. B., Bond S., « On the biocapacity and land-disturbance metrics of the Ecological Footprint », *Ecological Economics*, 61, 2007, pp. 6-10.

écologique de l'hypothèse sous-tendant la conversion de l'empreinte carbone³³. Les créateurs de l'empreinte ont formulé des réponses et ils les ont diffusées à travers leur réseau et par le biais de nombreuses publications scientifiques, affirmant que l'empreinte ne mène pas à des conclusions ambiguës³⁴, qu'elle peut servir à évaluer des stratégies pour éviter les situations de surexploitation écologique³⁵, ou encore qu'elle n'est pas un indicateur de durabilité, mais qu'elle a été pensée dès l'origine comme indicateur minimal de durabilité³⁶.

L'analyse que nous poursuivons actuellement porte sur la signification du dépassement, déficit ou « overshoot ». Nous espérons ainsi mieux appréhender la philosophie sous-tendue par les auteurs de cette empreinte écologique.

Nous avons souligné que la surface de séquestration du carbone est purement théorique dans la mesure où elle est calculée à partir du *potentiel* de séquestration des forêts qui *devraient* être plantées à cet usage exclusivement (les calculs sont basés sur l'hypothèse qu'il ne faut jamais les couper). Les plus de 7 milliards d'hectares de l'empreinte carbone ne correspondent pas à une demande effective, ils sont virtuels.

Les concepteurs de l'empreinte attirent l'attention du public en affirmant que les surfaces actuellement employées pour correspondre à la consommation constatée des êtres humains excèdent de 44 % en moyenne, les surfaces productives à disposition sur la terre avec un déficit moyen au niveau mondial de 0,8 hectare global par personne. Au sein de l'empreinte écologique, c'est l'empreinte carbone qui est responsable de ce déficit, ou « overshoot », à l'échelle planétaire, comme indiqué sur la Figure 6 avec un déficit total de 1,37 hectare global par personne. Il faut noter que l'empreinte écologique n'a pas pour objectif de quantifier si la demande effective de consommation alimentaire des êtres humains est atteinte puisque l'épineuse question de la famine dans le monde ne ressort pas dans les chiffres publiés.

Les différences sont grandes suivant les pays. Le GFN affirme ainsi que, si tous les habitants de la planète vivaient comme les habitants des Etats-Unis, il faudrait 5 planètes ; si le mode de vie français s'imposait, 2,5 planètes seraient nécessaires. Ce type d'image explique le succès de cet indicateur auprès du grand public.

³³ Piguet, Blanc, Corbière-Nicollier, Erkman, « Le monde virtuel de l'empreinte écologique », *La revue durable*, n°29, **2008**, pp. 60-61.

³⁴ Rees W. E., « Eco-footprint analysis : merits and brickbats », *Ecological Economics*, **2000**, 32, pp. 371-374.

³⁵ Wackernagel M. et Silverstein J., « Big things first : focusing on the scale imperative with the ecological footprint », *Ecological Economics*, **2000**, 32, pp. 391-394.

³⁶ Kitzes, Moran, Galli, Wada, Wackernagel, « Interpretation and application of the Ecological Footprint : a reply to Fiala », *Ecological Economics*, **2009**, n°68, pp. 929-930.

Empreinte Ecologique mondiale 2009 <i>Hectare global par personne (gha/cap)</i>			
	Biocapacité terrestre	Empreinte mondiale	Reserve (+) ou overshoot (-)
Terres cultivées	0.56	0.57	-0.01
Pâturages	0.26	0.22	0.04
Espace forestier	0.74	0.28	0.46
Espace piscicole	0.18	0.10	0.08
Empreinte carbone		1.37	-1.37
Espace construit	0.06	0.06	0
Monde	1.80	2.60	-0.80

Source: Global Footprint Network, 2009_Data_Tables_hectares.xls

Figure 6: Empreinte Ecologique mondiale 2009

Quelle définition pour le seuil écologique ?

La méthode de l’empreinte écologique traduit les émissions de dioxyde de carbone dans l’atmosphère en une demande pour un espace de séquestration du carbone par des forêts virtuelles. Au vu de ce dernier élément, il est légitime de s’interroger. La diminution des émissions de dioxyde de carbone relève-t-elle – dans le monde réel – seulement d’une question ayant trait à la séquestration du carbone ? Parallèlement, la diminution des émissions de dioxyde de carbone ne passe-t-elle pas davantage par une diminution de la consommation d’énergie fossile plutôt que par leur séquestration par des forêts ? Le GFN répond que l’empreinte carbone permet de s’interroger sur la modification de la demande sur la capacité biologique planétaire en cas de remplacement des énergies fossiles par des biocarburants³⁷.

Effectivement Catton³⁸ a introduit le concept de dépassement en 1982 avec la définition d’une croissance au-delà d’une surface dite de « biocapacité » produisant un excès ou un dépassement (overshoot en anglais), cette biocapacité étant définie comme étant la charge maximale supportable à long terme. Catton applique ce concept pour évaluer le seuil d’épuisement des combustibles fossiles au début des années 80 avec un espace fantôme (« ghost acreage ») représentant le nombre d’hectares additionnels d’espace agricole qui seraient nécessaires pour cultiver des agro-carburants se substituant aux énergies fossiles. Il arrive ainsi à estimer que nous aurions besoin d’un espace égal à dix fois la planète actuelle pour répondre à cette complète indépendance énergétique, sans diminution de la population ou de la consommation énergétique par habitant. La définition de l’objectif et donc du seuil

³⁷ Kitzes J., Wackernagel M., « Answers to common questions in Ecological Footprint accounting », *Ecological Indicators*, 9, 2009, pp. 812-817. (p. 813)

³⁸ Catton, W., R., « Overshoot : the Ecological basis of revolutionary change », University of Illinois Press, 1982.

est essentielle pour appréhender le concept de l'«overshoot» tel que calculé par Catton : l'espace virtuel nécessaire à l'humanité lui permettant de réaliser son indépendance énergétique. Cette question de l'indépendance énergétique est très éloignée de l'idée de base qui consistait à calculer l'espace nécessaire pour faire face à la charge environnementale endurée par la planète en intégrant par exemple l'accumulation de substances toxiques comme le suggère Catton. Cet exemple illustre l'écart constaté entre la définition théorique du concept de l'« overshoot » et son mode de calcul basé sur une cible ou seuil, différent du concept initial puisque uniquement représentatif de la question de l'indépendance énergétique.

L'empreinte écologique induit en erreur sur la gravité de la crise écologique

L'empreinte paraît être employée comme un outil d'alerte et de remise en cause du mode de vie des pays développés, et elle est sollicitée à ce titre. Il est possible de comptabiliser le nombre de planètes nécessaires à la généralisation d'un mode de vie moyen, mais cette estimation n'est nullement basée sur un calcul d'impact environnemental ou d'un seuil de durabilité, comme un lecteur non averti pourrait le comprendre en première lecture. En outre, ce nombre de planètes est loin de donner une idée correcte du problème écologique collectif principal auquel l'humanité doit faire face, à savoir les bouleversements climatiques, quand bien même l'évaluation de la surface de séquestration du CO₂ compte pour la moitié de l'empreinte. Les émissions de gaz à effet de serre, dont le CO₂, exigent des diminutions bien plus importantes de la part de maints pays. Ces émissions ont été bien documentées au niveau de la consommation nationale par plusieurs études récentes^{39, 40}. Celles-ci sont publiées pour 73 pays parmi les principaux émetteurs, et en 14 régions du monde. Elles ont non seulement intégré le dioxyde de carbone, mais aussi le méthane, le protoxyde d'azote, et les fluorures. Avec cet indicateur agrégé en tonnes équivalent CO₂, il devient possible de discuter des émissions qu'il conviendrait de ne pas dépasser. Selon Meinshausen et al.⁴¹, la hausse de la température planétaire moyenne devrait être limitée à 2°C pour se donner les moyens d'éviter un emballement du climat, d'où la nécessité de diminuer les émissions globales de moitié d'ici à 2050, et à 1 tonne de CO₂ par habitant sur le long terme. Pour ne retenir que l'horizon 2050, cela signifie que les émissions de gaz à effet de serre moyennes par habitant devront avoisiner les 2,5 tonnes de CO₂ équivalent. Ces deux objectifs chiffrés confrontés aux 29 tonnes de CO₂ éq des habitants des USA, aux 13 tonnes de CO₂ éq des français et aux 3 tonnes de CO₂ éq des Chinois calculés par Hertwich et Peters donnent une mesure plus claire et réaliste du problème de durabilité que l'empreinte écologique. Les données de Hertwich et Peters rendent bien mieux compte des problèmes posés par les émissions de gaz à effet de serre que ne le font les émissions de carbone traduites en hectares globaux, et elles peuvent être discutées en regards d'objectifs concrets et de seuils écologiques dérivant de l'écologie scientifique.

L'empreinte écologique rencontre actuellement trop d'obstacles dans son approche méthodologique pour être adoptée comme indice de durabilité :

- la sélection restreinte d'indicateurs de durabilité : la formalisation spécifique de l'empreinte écologique en terme d'espace oblige à restreindre le champ des indicateurs

³⁹ Hertwich E. G., Peters P., « Carbon footprint of nations : a global, trade-linked analysis », *Environ. Sci. Technol.*, 43 (16), pp 6414–6420, DOI: 10.1021/es803496a – voir également le site web : <http://www.carbonfootprintofnations.com>

⁴⁰ Davis, Caldeira, Consumption-based accounting of CO₂ emissions, PNAS, mars 2010, doi: 10.1073/pnas.0906974107

⁴¹ Meinshausen et al., « Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C », *Nature*, 2009, 458 (7242), pp. 1158-1162.

et mène à des résultats qui induisent le public en erreur sur la nature même de la crise écologique. Le seul déchet de la planète considéré est le CO₂, celui-ci se prêtant à une conversion opportune en surface virtuelle de séquestration,

- le choix implicite et peu visible du seuil écologique ou de cible de durabilité : l'empreinte induit l'utilisateur, voire le public, en erreur sur la gravité de la crise écologique en la minimisant de plusieurs ordres de grandeur. Aujourd'hui, le GFN chiffre l'ordre de grandeur d'un « dépassement » ou « overshoot » à 44 %, ce qui est très peu en regard du seul problème posé par les gaz à effet de serre en terme de changement climatique où un dépassement avoisinant les 500 % est actuellement débattu au sein du GIEC⁴². Le seuil de l'empreinte écologique sur lequel repose le calcul d'un dépassement n'est pas un seuil explicite en terme d'enjeux écologiques tels que celui du changement climatique, de l'épuisement des ressources (fossiles, eau, ...) ou celui de l'atteinte à la biodiversité. Ce dépassement potentiel repose sur une équivalence et donc sur une agrégation implicite entre des indicateurs normalisés en hectare global : la consommation de ressources renouvelables (cultures, herbages, forêts, pêches) et l'émission de CO₂. La légitimité de ce seuil écologique est directement liée à celle de l'unité de normalisation de l'empreinte écologique, l'hectare global, qui se révèle être une unité réductrice et controversée pour appréhender avec justesse des enjeux écologiques majeurs.

4.2.2 L'Indicateur de Performance Environnementale (EPI)

L'indicateur de Performance Environnementale (EPI)⁴³ est également un indice quantifiant les performances d'un grand nombre de pays de la planète en se basant sur des enjeux environnementaux majeurs : la consommation de ressources, l'épuisement du capital environnemental, la pollution, la gestion des déchets et la disparition d'espèces. Cet indice est publié régulièrement. La dernière version a été diffusée début 2010 lors du « World Economic Forum » et a classé 163 pays selon leurs performances pour 25 indicateurs agrégés en 10 catégories couvrant la santé environnementale, la qualité de l'air, la gestion des ressources eau, la biodiversité et l'habitat, les forêts, les pêcheries, l'agriculture et le changement climatique (Tableau 1).

L'objet de ces 25 indicateurs vise à refléter l'état de l'art et les pratiques courantes en santé environnementale et science écologique. Chaque indicateur correspond à un enjeu de santé publique ou à un objectif de durabilité des écosystèmes. Pour chaque pays et chaque indicateur, un score est calculé par rapport à ces objectifs ou cibles de durabilité. Ces cibles sont établies selon plusieurs sources : (1) accords internationaux, (2) normes internationales, (3) réglementations nationales considérées comme exemplaires, (4) jugement d'expert basé sur un consensus scientifique.

La construction d'indicateurs composites est faite en plusieurs étapes couvrant la sélection des indicateurs, la standardisation et la normalisation des données, les techniques de pondération et d'agrégation, étapes qui comportent toutes des hypothèses et modèles. Chaque étape est maintenant discutée pour l'EPI.

⁴² GIEC, "Climate Change 2007: Synthesis Report," 2007.

⁴³ Emerson, J., D. C. Esty, M.A. Levy, C.H. Kim, V. Mara, A. de Sherbinin, and T. Srebotnjak. 2010. 2010 Environmental Performance Index. New Haven: Yale Center for Environmental Law and Policy.

L'hétérogénéité dans la sélection des indicateurs de l'EPI

25 indicateurs pour les 10 catégories de politiques publiques ont été sélectionnés pour l'EPI (avec 1 à 4 indicateurs par catégorie). Ces indicateurs de performances doivent théoriquement rendre compte de l'état de l'environnement de chaque pays par rapport aux cibles définies au préalable.

Objectives	Policy Categories	Indicators	Weightings	Target	DPSIR
Environmental health	Environmental burden of disease	Environmental burden of disease	25%	10 DALYs par 1 000 population	I
	Air pollution (effects on humans)	Indoor air pollution	25%	0% population using solid fuels	D
		Outdoor air pollution		20 ug/m3 of PM ₁₀	S
	Water (effects on humans)	Access to water		100 % population with access	D
		Access to sanitation		100 % population with access	D
Ecosystem Vitality	Air pollution (effects on ecosystem)	SO ₂ per populated land area	25%	0,01 Gg SO ₂ / km ²	P
		NO _x per populated land area		0,01 Gg NO _x / km ²	P
		NMVOC per populated land area		0,01 Gg NMVOC/ km ²	P
		Ecosystem ozone		0 ppb exceedance above 3 000 AOT40	S
	Water (effects on ecosystem)	Water quality index		Dissolved oxygen: 9.5mg/l (Temp<20°C), 6mg/l (Temp>20°C), pH: 6.5 - 9 mg/l; Conductivity: 500 uS; Total Nitrogen: 1 mg/l; Total phosphorus: 0.05 mg/l; Ammonia: 0.05 mg/l	S
		Water stress index		0% territory under water stress	S
		Water scarcity index		0 fraction of water overuse	S
	Biodiversity & Habitat	Biome protection		10% weighted average of biome areas	R
		Marine protection		10% of Exclusive Economic Zone (EEZ)	R
		Critical habitat protection		100% AZE sites protected	R
	Forestry	Growing stock exchange		ratio >=1 n cubic meters / Hectare	S
		Forest cover change		% no decline	S
	Fisheries	Marine trophic index		no decline of slope in trend line	S
		Trawling intensity		0% area with combined bottom trawl or dredge catch with declared EEZ areas	R
	Agriculture	Agricultural water intensity		10% water resources	R
		Agricultural subsidies		0 Nominal Rate of Assistance (NRA)	R
		Pesticide regulation		22 points	R
	Climate change	GHG per capita (including land use emissions)		2.5 Mt CO ₂ eq / cap. (Estimated value associated with 50% reduction in global GHG emissions by 2050, against 1990 levels)	P
		Industrial GHG intensity		36.3 tons of CO ₂ per \$mill (USD, 2005, PPP) of industrial GDP (Estimated value associated with 50% reduction in global GHG emissions by 2050, against 1990 levels)	P
		CO ₂ emissions per electricity generation		0g CO ₂ per kWh	P

Tableau 1: Construction de l'indice EPI

Pour coïncider avec cette logique, il faudrait ainsi que chaque indicateur soit défini au niveau de l'état ou « State » au sein du DPSIR. Ce n'est pas le cas. L'EPI mélange différents types de catégories pour ces indicateurs et la majorité d'entre eux ne se réfèrent pas à la catégorie de l'état comme le reconnaissent les auteurs eux-mêmes. Par exemple, les émissions de SO₂, NO_x, et des composés organiques volatiles exprimées par surface au sol sont des indicateurs de type pressions ou « Pressure » dans le DPSIR de même que l'indicateur de régulation de pesticide (« Pesticide Regulation » dans la catégorie « Agriculture policy ») ou celui de la protection des biomes (« Biome Protection » dans la catégorie « Biodiversity & Habitat ») sont des indicateurs de type réponse ou « Response » dans le DPSIR. Parmi les 10 catégories de l'EPI seulement 2 possèdent des indicateurs relevant exclusivement de l'état comme le montre la dernière colonne du Tableau 1 qui qualifie chaque indicateur selon le cadre conceptuel DPSIR. Ces entorses au cadre du DPSIR affaiblissent la logique d'un indice composite comme l'avaient déjà souligné mes travaux sur l'indicateur composite régional européen⁴⁴.

Une pondération des indicateurs orientée politiques publiques

L'agrégation d'indicateurs au sein des indices composites est une question méthodologique très controversée. La plupart des indices composites reposent sur des indicateurs dont les unités sont hétérogènes. Aucun consensus scientifique ne s'impose à l'heure actuelle pour orienter la construction d'indice combinant des enjeux si divers⁴⁵. Le débat sur l'empreinte écologique retracé précédemment le confirme. Le parti pris de l'EPI est d'accorder un poids égal aux objectifs de santé environnementale (« Environmental Health ») et de vitalité des écosystèmes (« Ecosystem Vitality »). Cette répartition n'est pas fondée sur un raisonnement scientifique mais se réfère à des politiques publiques comme le déclarent les auteurs de l'EPI. Par exemple au sein de l'objectif « Vitalité des Ecosystèmes », l'indicateur du changement climatique est affecté d'une pondération de 50% soit un quart du total de l'indice composite EPI (voir les facteurs de pondération de l'EPI dans le Tableau 1). Cette pondération attribuée au changement climatique reflète ainsi l'importance accordée à l'enjeu climatique au niveau des politiques publiques.

Analyse des seuils écologiques comme objectif de durabilité

Le principe de l'EPI consiste à évaluer la performance de chaque pays selon des objectifs établis pour chacun des 25 indicateurs. Ces objectifs peuvent s'apparenter à des cibles de durabilité ou des seuils écologiques universels s'ils existent en tant que tels mais peuvent également se contenter de refléter un consensus international par défaut en se basant, par exemple, sur des réglementations nationales spécifiques considérées comme exemplaires. Cette constatation sur la disparité dans la définition des objectifs de seuils de durabilité ne permet pas à l'indice EPI de se positionner comme un indice construit de manière homogène avec des seuils de durabilité compatibles. Aucun indice composite ne peut d'ailleurs prétendre actuellement à cette homogénéité.

Il est néanmoins intéressant d'étudier chaque indicateur isolément assorti de son seuil de durabilité. En effet, l'étude précédente sur l'empreinte écologique avait reconnu la nécessité d'analyser pour chaque enjeu écologique son seuil de durabilité, clé de compréhension de la

⁴⁴ Blanc, I., Friot, D., Jolliet, O., Margni, M., « Towards a new index for environmental sustainability based on a DALY weighting approach », *Sustainable Development*, **2008**, 16, 251-260.

⁴⁵ Singh, R. K., An overview of sustainability assessment methodologies, *Ecological indicators*, **2009**, 9, pp 189-212.

philosophie de l'indicateur lui-même. L'étude des seuils de durabilité d'EPI pour le changement climatique, par exemple est effectivement riche d'enseignement. Trois indicateurs sont relatifs au changement climatique : les émissions de gaz à effet de serre par habitant (pondération de 50 %), l'intensité carbone (pondération de 25 %) et les émissions de gaz à effet de serre industrielles (pondération de 25 %). La cible de l'EPI 2010 pour le premier indicateur du changement climatique est basée sur un objectif de réduction de 50 % à l'horizon de 2050 des niveaux de CO₂ équivalents émis en 1990, soit 2,5 Mt CO₂ eq par personne. Cet objectif correspond ainsi à un seuil de durabilité permettant de répondre au consensus international de contenir le réchauffement climatique et de calibrer les performances nationales avec celui-ci.

4.2.3 Conclusion

Suite à l'analyse de l'empreinte écologique, il faut conclure qu'un indicateur agrégeant des données relevant de plusieurs défis écologiques distincts ne peut pas articuler les problèmes climatiques avec les questions d'accaparement des ressources renouvelables sous prétexte qu'il formalise plusieurs questions par une unité de compte standardisée. Ces questions complexes – différentes – ne se prêtent pas à une agrégation aussi systématique et exigeante en terme de concision. De même pour l'EPI, la qualification très hétérogène de ses indicateurs au sein du DPSIR appauvrit son fondement méthodologique dans la construction d'un indice composite de durabilité reflétant l'état de l'environnement.

L'empreinte écologique procède d'une agrégation implicite et donc d'un arbitrage non transparent. La construction de l'EPI, bien que transparente avec les facteurs de pondérations des 25 indicateurs et des seuils explicites, présente des écueils avec une agrégation d'indicateurs hétérogènes, ceux-ci n'étant pas systématiquement basés sur des seuils de durabilité.

Au vu des connaissances actuelles, j'affirme qu'il faut se limiter à développer des indicateurs modestes mais capables de documenter correctement chacune des questions mises en débat et méritant effectivement d'être traitées. Ces indicateurs doivent faciliter l'arbitrage entre les priorités qui relèvent des décisions de politique publique. Les indicateurs de type empreinte carbone exprimés en tonnes équivalents carbone sont de cette sorte et ont d'ailleurs été l'objet d'une recommandation du Commissariat général au développement durable en janvier 2010⁴⁶. L'indicateur du changement climatique au sein de l'EPI correspond ainsi à cette attente. A ce titre, la recommandation du *Conseil économique social et environnemental*, citée précédemment, donnant dans l'immédiat la priorité à un indicateur carbone est raisonnable et adaptée au défi immense qui attend l'humanité⁴⁷.

La poursuite de mes travaux s'est donc concentrée sur cet objectif de clarification des indicateurs correspondant à des enjeux environnementaux distincts en évitant toute agrégation préjudiciable à la clarté des messages. Mes recherches se sont concentrées sur les filières

⁴⁶ Commissariat général au développement durable, Service de l'observation et des statistiques, Michel David, Cécile Dormoy, Emmanuel Haye, Bruno Trégouët, « Une expertise de l'empreinte écologique », n°16, ISBN : 978-2-911089-98-5, janvier 2010.

⁴⁷ CONSEIL ECONOMIQUE SOCIAL ET ENVIRONNEMENTAL, « Les indicateurs du développement durable et l'empreinte écologique », avis présenté par Philippe Le Clézio, *Les éditions des journaux officiels*, 2009, n°15, NOR : C.E.S. X09000115V, p. 62.

énergétiques. L'empreinte carbone d'un système photovoltaïque sur le territoire français a ainsi été développée dans le cadre de mes travaux de recherche (voir le chapitre 6). Le bon accueil fait aux résultats démontre l'efficacité d'une information environnementale lisible simple à interpréter et facilitant des prises de décisions par différents types d'utilisateurs (consommateurs, pouvoirs publics, industriels).

5 Evaluation des méthodes de comptabilité environnementale face au défi de la mondialisation : élaboration d'un nouveau cadre d'analyse

Mes travaux menés sur les indicateurs de durabilité ont permis d'identifier l'importance du repérage de la « délocalisation » des impacts environnementaux liée au phénomène croissant de la mondialisation. Dans un contexte d'échanges de biens et de services à l'échelle mondiale et dans un contexte de régulation et de réduction mondiale des émissions de polluants, l'accès et la maîtrise des impacts environnementaux en terme spatio-temporel des filières de production sont indispensables. Une réflexion méthodologique sur l'adaptation des méthodes de comptabilité environnementale aux enjeux actuels de la mondialisation a été menée avec une contribution active à l'analyse et à la définition de nouveaux indicateurs de comptabilité environnementale. Cette réflexion a eu lieu dans le cadre du projet européen IMEA⁴⁸ portant sur l'évaluation des méthodologies de comptabilité environnementale dans le cadre de la mondialisation. J'ai assuré la coordination des équipes de recherche néerlandaises (TNO), autrichiennes (IFF), finlandaises (Université de Oulu), belges (VITO) et françaises (MINES ParisTech) dans ce projet (2008-2009).

Les méthodes de comptabilité environnementale peuvent se définir comme toute méthode permettant la quantification, la synthèse et l'analyse des impacts environnementaux (dans leur appellation commune) selon une approche cycle de vie (ABCV) afin de permettre une prise de décision et de communiquer au sujet de ces impacts.

Ces méthodes sont appelées en anglais « Environmental Accounting Methods » (EAMs). Les grandes familles d'EAM sont l'analyse du cycle de vie (« Life Cycle Assessment » en anglais ou LCA), l'analyse entrées-sorties étendue (« Input-Output Analysis » en anglais ou IOA), l'analyse de flux de matière (« Material Flow Accounting » en anglais ou MFA), et les empreintes environnementales dont la plus connue est l'empreinte écologique (« Ecological Footprint » en anglais ou EF).

Avec mon doctorant, Damien Friot, nous avons abordé la question de l'intégration des contraintes liées à la mondialisation, des échanges et des responsabilités, au sein des méthodes de comptabilité environnementale destinées à quantifier les impacts environnementaux des biens, services, entreprises, individus et nations. Les impacts environnementaux liés à la production de biens importés et exportés, ne sont à l'heure actuelle pas clairement identifiés, et ne font pas l'objet d'analyses systématiques, ni de comptabilité environnementale spécifique. La croissance des importations européennes en provenance de Chine ou d'Inde, par exemple, participe cependant pleinement à une délocalisation des impacts environnementaux. Il s'ensuit un découplage entre consommation et production, nécessitant de compléter les approches d'évaluation actuelles par une prise en compte de ces impacts « indirects » délocalisés.

La question centrale de notre étude est la suivante: « comment une EAM répond aux attentes sociétales et comment fait-elle face aux défis de la mondialisation ? ». Pour y répondre, nous

⁴⁸ Blanc, I., Friot., D., Cabon., J., Mäenpää., I., Steinberger., J., Krausmann., F., Erb., K., Tukker., A., Vercalsteren., A., Van Hoof., V.: Evaluation of Environmental Accounting Methodologies for the assessment of global environmental impacts of traded goods and services. Report to SKEP, 2009, 221 p. www.imea-eu.org

avons formulé un nouveau cadre analytique de référence d'évaluation des EAMs basé sur ces attentes et sur ces défis. Un schéma archétypal a également été défini au préalable pour l'ensemble des EAMs facilitant ainsi la compréhension et l'identification des disparités entre les EAMs.

5.1 Archétype d'EAM

Après une étude des différents EAMs, nous proposons un archétype facilitant ainsi la définition et le repérage des EAMs. Celui-ci est structuré en 4 grandes étapes aboutissant à quatre types de résultats : l'inventaire direct, l'inventaire global de type « cycle de vie », l'indice synthétique et l'indice de performance (Figure 7).

1. L'inventaire direct résulte de la première étape de collecte de données des émissions environnementales (eau, air, sol) suite à la définition du système.
2. Cet inventaire est ensuite réalloué selon les chaînes de production/consommation permettant ainsi d'obtenir un inventaire selon une perspective globale de type cycle de vie.
3. Une réduction de l'inventaire intervient aboutissant à des résultats synthétiques agrégés au niveau des pressions ou des impacts (en référence au DPSIR).
4. Ces indicateurs agrégés sont éventuellement normés par des valeurs de référence facilitant ainsi la prise de décisions par rapport à des référentiels existants.

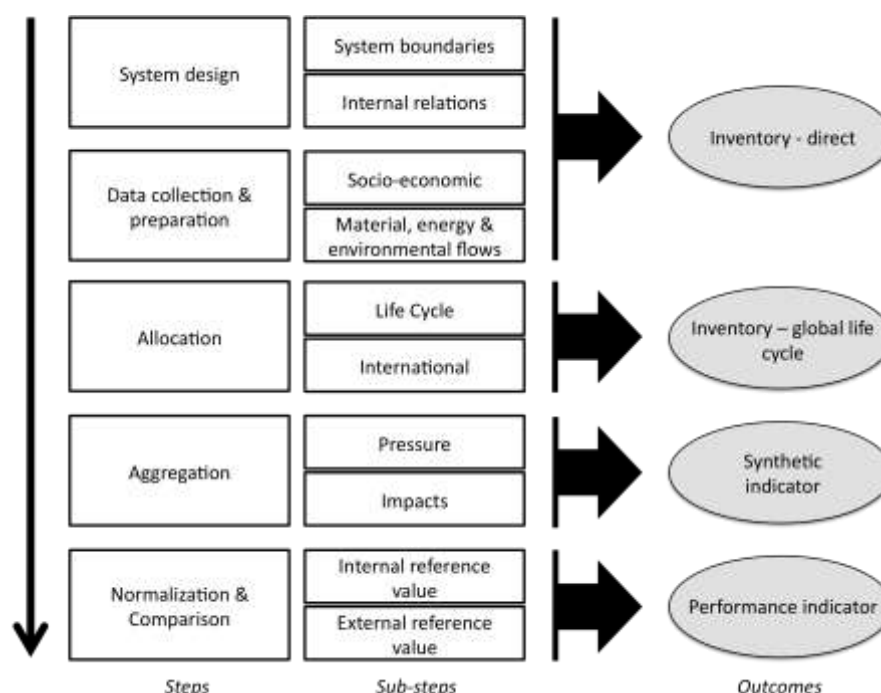


Figure 7: Archétype d'une EAM

Cet archétype a été développé et structuré pour appréhender au mieux les questions et enjeux liés aux échanges environnementaux et commerciaux au sein des EAMs.

La question de l'agrégation est un point clé pour toute EAM. La plupart des agrégations s'effectue selon une somme pondérée mais le schéma peut être plus complexe. Nous avons distingué deux types d'agrégation : celle opérant au niveau des impacts, et celle au niveau des

pressions. La caractérisation du schéma d'agrégation d'une EAM au niveau des impacts est en particulier indispensable pour qu'une EAM soit identifiée comme capable de traiter la question des impacts environnementaux intégrant les déplacements et la dégradation de polluants (pollution transfrontalière atmosphérique par exemple). Une EAM se positionnant au seul niveau des pressions (les émissions de polluants atmosphériques par exemple) ne permettra pas de rendre compte de ces phénomènes essentiels pour une évaluation à l'échelle planétaire.

Un autre élément clé de cet archétype réside dans l'étape de comparaison et de normalisation. L'indicateur de performance est calculé par rapport à une référence qui peut être soit interne, soit externe. Expliciter la constitution de cette référence par rapport à un objectif clarifie le fondement et la philosophie de toute EAM, comme démontré dans mes travaux portant sur l'empreinte écologique (voir chapitre 4.2). Toute définition de seuil de durabilité se fonde sur un objectif environnemental qu'il est indispensable de comprendre, et permettant d'utiliser à bon escient toute EAM. Ces seuils de durabilité gagneraient de plus à être définis selon chaque région permettant de développer une approche coïncidant au mieux avec les réalités environnementales régionales, et de développer une perspective réellement internationale.

5.2 Formulation d'un nouveau cadre analytique d'évaluation des EAMs

Un nouveau cadre d'analyse a été établi permettant l'évaluation des forces et faiblesses des EAMs existantes, ainsi que de leur potentiel d'intégration des problématiques liées à la mondialisation.

Divers cadres analytiques sont disponibles : nous avons montré qu'ils ne correspondent pas aux besoins d'évaluation actuels des EAMs. Il manque ainsi un cadre d'analyse qui leur soit spécifique et fasse ressortir ce qu'elles ont en commun et leurs différences, les attentes de la société envers ces méthodes, ainsi que les défis auxquels elles doivent faire face pour prendre en compte la mondialisation. Certains cadres d'analyse sont focalisés sur des points méthodologiques précis tel que l'évaluation de la qualité des données. D'autres cadres d'analyse sont très généraux et s'appliquent à tous types de méthodologies de développement d'indicateurs tel le cadre européen dénommé RACER (« Relevant, Accepted, Credible, Easy, and Robust »). Les deux projets d'évaluation d'EAMs récents, une évaluation de l'empreinte écologique⁴⁹ en 2008 et le projet EIPOT⁵⁰ en 2009 proposant le développement d'une méthodologie d'évaluation des impacts environnementaux globaux des biens et services commercialisés, ont ainsi décliné leur version du RACER.

La première action pour la définition d'un cadre analytique apte à traiter les EAMs et les nouveaux enjeux liés à la mondialisation, a été de développer un jeu de questions basé sur les cadres existants et de le compléter par les éléments ad-hoc qui ressortaient des discussions avec des spécialistes. Ce questionnaire a été soumis aux experts du domaine afin d'obtenir une description aussi exhaustive que possible des différentes EAMs. L'analyse de leurs

⁴⁹ Best, A., Giljum, S., Simmons, C., Blobel, D., Lewis, K., Hammer, M., et al. (2008). Potential of the Ecological Footprint for monitoring environmental impacts from natural resource use: Analysis of the potential of the Ecological Footprint and related assessment tools for use in the EU's Thematic Strategy on the Sustainable Use of Natural resource: Report to the European Commission, DG Environment.

⁵⁰ Projet européen dans le cadre du programme SKEP www.eipot.eu

réponses et de la littérature a permis l'identification des éléments communs aux EAMs et de leurs différences - dans ce qu'elles sont et comment elles fonctionnent - ainsi que des attentes et défis auxquels elles doivent répondre. Ces éléments identifiés ont été discutés dans un atelier organisé dans le cadre du projet IMEA⁵¹ regroupant partenaires et parties prenantes, telles que les offices statistiques, les groupes de recherche, les membres de diverses organisations et des membres des instances européennes.

Nous proposons ici un nouveau cadre d'analyse visant à combler un manque pour permettre une analyse détaillée et reproductible d'une méthode de comptabilité environnementale, ainsi qu'une vision synthétique permettant la comparaison entre méthodes. Ce cadre utilise un vocabulaire acceptable par les spécialistes des différentes méthodes. Il tire profit des cadres d'analyse existants et innove en intégrant les questions spécifiques à la mondialisation. Il mentionne explicitement les caractéristiques-clés attendues des EAMs - ce qu'elles sont et comment elles fonctionnent - ainsi que les attentes sociétales à leur égard et les défis liés à l'intégration des questions internationales et transfrontalières. Ce cadre analytique est un premier pas. Il fournit une première structure cohérente de réflexion sur les EAMs qui peut servir de base de discussions pour la détermination d'un cadre standardisé commun destiné à l'évaluation des nouvelles EAMs et des modifications apportées aux EAMs actuelles.

Ce cadre analytique, schématisé sur la Figure 8, est structuré selon 3 axes:

1. la capacité intrinsèque de comptabilité environnementale de la méthode,
2. la capacité d'aide à la décision pour les utilisateurs,
3. le potentiel d'amélioration de la méthode.

Le premier axe comporte les dimensions relatives aux qualités inhérentes d'une EAM, à sa maturité et son auditabilité ainsi qu'à sa capacité d'adaptation aux défis de la mondialisation. Ces propriétés sont analysés selon la structure de l'archétype proposé pour l'ensemble des EAMs (voir Figure 7).

Le deuxième axe concerne le potentiel d'utilisation d'une EAM (« usability »), son potentiel analytique qui repose sur son aptitude ou non à proposer une analyse structurelle, l'adéquation aux objectifs d'évaluation des impacts environnementaux et son potentiel en terme de comparabilité des indicateurs et d'intégration aux systèmes de comptabilité actuels.

Le troisième axe exprime le potentiel d'amélioration pour chacune des dimensions mentionnées ci-dessus.

⁵¹ Workshop du 20 mars 2009 à MINES ParisTech – présentations disponibles sur www.imea-eu.org

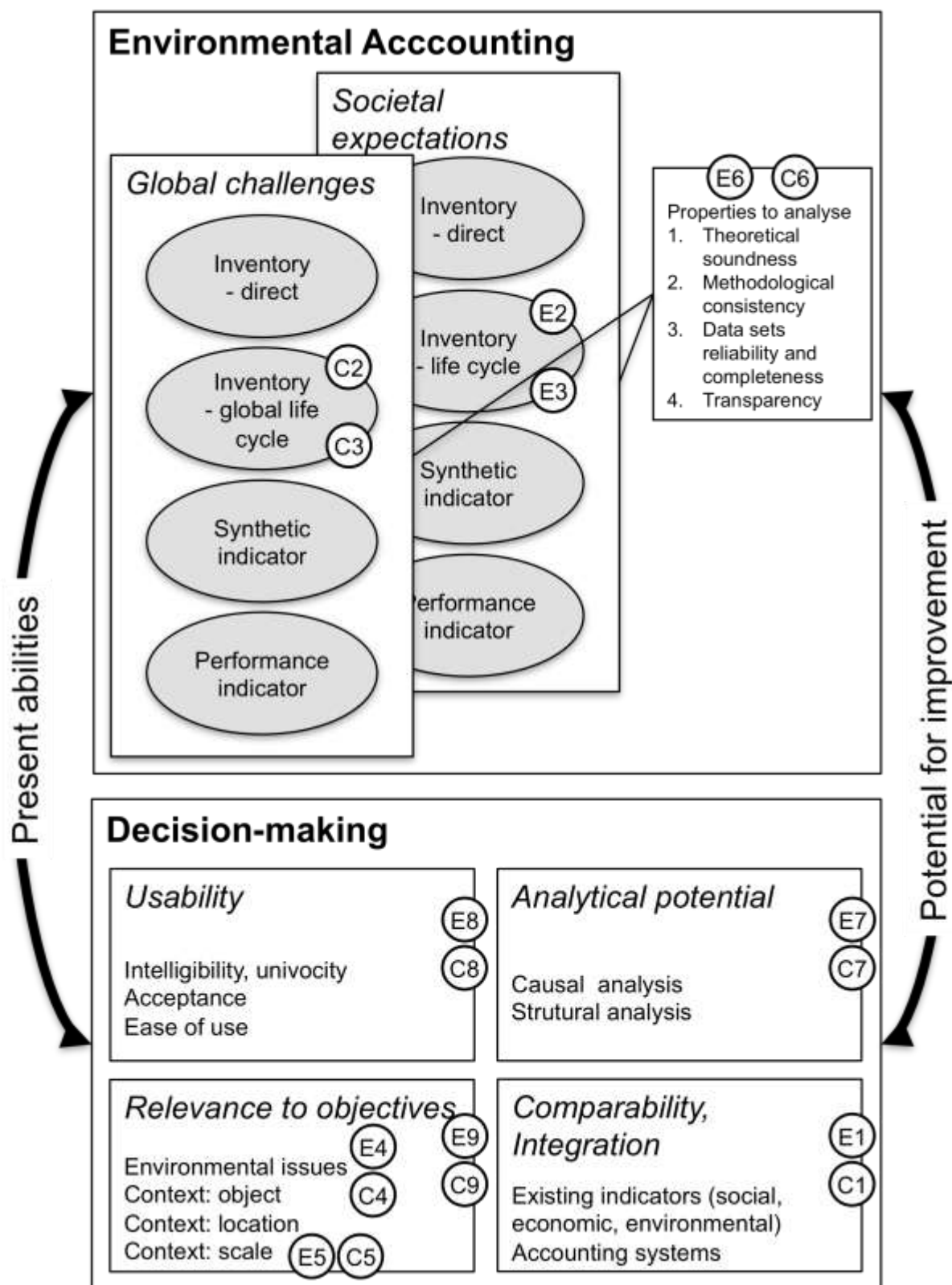


Figure 8: Proposition d'un cadre analytique d'évaluation des méthodes de comptabilité environnementale

5.3 Analyses des EAMs existantes : le cas de l'analyse de cycle de vie

Ce nouveau cadre analytique a permis d'analyser les principales EAMs. L'analyse générale des EAMs montre qu'une vision systématique multicritères et multi-échelles permettant de répondre aux attentes sociétales ne peut être complètement obtenue avec les outils actuellement développés et que la question liée à la mondialisation commence tout juste à être abordée. Des pistes de développement futur sont proposées avec des orientations concrètes en terme de stratégie de collecte de données et d'amélioration pour chacune de ces méthodologies. Quoique le rapport IMEA⁵² contienne l'analyse de toutes les EAMs je présente ici seulement les pistes identifiées spécifiques à l'ACV car c'est là que se trouve ma contribution.

Comme présenté au chapitre 3.1, les Analyses de Cycle (ACV) ou Life Cycle Assessment (LCA) considèrent le cycle de vie d'un produit du berceau (extraction des matières premières) à la tombe (fin de vie: réutilisation, incinération, mise en décharge, recyclage) comprenant les phases de production, de distribution, d'usage et intégrant tous les flux possibles reflétant les échanges commerciaux au sein de la filière du produit.

Actuellement les indicateurs environnementaux issus d'une ACV renseignent sur l'ordre de grandeur de ces impacts sans toutefois exploiter des données environnementales locales ni proposer une information sur la localisation géographique de ces impacts.

Le défi de la mondialisation des échanges posé aux ACV concerne directement cette question de la régionalisation. Il a donc été proposé d'approfondir les pistes suivantes :

1. La formulation de recommandations pour le développement d'études régionales spécifiques ACV identifiées comme nécessaires et procurant une valeur ajoutée significative en termes de qualité des études ACV.
2. Le développement de nouveaux facteurs de caractérisation régionaux permettant le développement de nouvelles catégories d'impacts régionaux.
3. L'extension des bases de données d'inventaires existants aux pays émergents.

Il faut souligner que l'ACV est une méthode adaptée à l'évaluation de produits qui n'est pas compatible avec la comptabilité nationale. Le couplage des ACV avec les données statistiques d'importations et d'exportations à l'échelle d'un pays n'est donc pas facilement envisageable. Le couplage des ACV avec les analyses entrées-sorties étendues (approche qualifiée d'« hybride ») permettrait d'explorer l'extension du champ d'application des ACV du domaine micro à celui du macro (à l'échelle d'un pays). La disponibilité de données locales provenant des pays émergents (entre autres) et celle de facteurs de caractérisations d'impacts locaux sont un préalable à toute tentative d'intégrer les impacts des importations et des échanges transfrontaliers au sein des résultats d'ACV.

⁵² Blanc, I., Friot., D., Cabon., J., Mäenpää., I., Steinberger., J., Krausmann., F., Erb., K., Tukker., A., Vercalsteren., A., Van Hoof., V.: Evaluation of Environmental Accounting Methodologies for the assessment of global environmental impacts of traded goods and services. Report to SKEP, 2009, 221 p. www.imea-eu.org

5.4 *Recommandations pour l'évaluation intégrée des impacts environnementaux*

Les résultats de cette analyse corroborent ceux récemment publiés sur le même sujet par le projet EIPOT, tout en leur apportant un éclairage plus méthodologique grâce au nouveau cadre d'analyse développé. Les résultats font particulièrement ressortir qu'un élément clé de la modélisation systématique des importations est la capacité à fournir une perspective **cycle de vie** à l'échelle mondiale. Cette capacité d'allocation globale, telle que nous la nommons, n'est possible qu'avec quatre EAMs : IOA (Analyses Entrées Sorties), PIOT (tables entrées-sorties physiques ou « Physical Input-Output Tables »), MIPS⁵³ et LCA. La méthode IOA semble être la plus adaptée des quatre, les approches PIOT et MIPS sont très peu utilisées et les données rares, tandis que l'approche LCA est encore peu adaptée à son déploiement systématique à l'échelle mondiale pour couvrir avec complétude l'ensemble des secteurs économiques. Par contre, dans le cadre d'études de filières spécifiques, l'approche ACV reste un outil puissant.

La mise en place de ce cadre d'analyse et l'analyse des EAMs montrent que les développements futurs requis pour l'intégration des défis liés à la mondialisation pourraient être facilités par :

- le développement de profils de produits et de régions afin de déterminer quelles sont les données pertinentes à développer selon le contexte,
- la concentration des efforts de recherche sur quelques EAMs pertinentes à chaque contexte, plutôt que d'effectuer un développement parallèle de toutes les méthodes à l'échelle mondiale,
- l'adoption d'une approche modulaire, telle que suggérée par la démarche en étapes proposée par le projet IMEA, permettant la collaboration entre spécialistes des différentes EAMs sur des problèmes communs afin d'adapter les meilleures solutions de manière transversale.

Les spécificités du commerce international qu'il serait nécessaire d'appréhender dans un cadre méthodologique général de comptabilité environnementale sont les suivantes :

1. la nécessité de suivi et de traçage complet des filières internationales,
2. la nature locale des principaux impacts environnementaux liés au commerce international,
3. le caractère trans-frontalier des impacts environnementaux,
4. la rapidité de l'évolution de la performance environnementale chez les nouveaux partenaires commerciaux.

Ces spécificités devront être intégrées dans mon objectif de définition au cadre conceptuel de référence pour une évaluation des impacts environnementaux adaptée aux enjeux actuels.

⁵³ MIPS: material intensity per service unit

6 Vers une approche spatiale des impacts environnementaux

J'avais conclu au chapitre 4.2 qu'il fallait actuellement se limiter à développer des indicateurs modestes capables de documenter correctement chacune des questions mises en débat et méritant effectivement d'être traitées. Je présente maintenant un indicateur de type empreinte carbone.

S'astreindre à l'analyse d'un seul enjeu environnemental ne limite en rien l'intérêt de l'analyse si celle-ci intègre une démarche spatio-temporelle permettant d'appréhender les impacts environnementaux avec justesse sur le cycle de vie. En effet, l'intérêt de l'approche cycle de vie consiste à identifier et à cumuler tout impact survenant le long de la chaîne spatio-temporelle d'une filière. Ceci permet de garantir ainsi une vision systémique des enjeux environnementaux en limitant les risques d'une vision tronquée masquant les reports spatio-temporels d'impacts. Cette approche cumulative des impacts est particulièrement adaptée pour des impacts dits « globaux » comme l'effet de serre. Néanmoins, l'outil ACV n'a pas été développé à l'origine en conservant cette désagrégation spatio-temporelle pour chacun des impacts. Des extensions méthodologiques sont nécessaires pour retracer cette spatio-temporalité et développer des indicateurs locaux d'impacts spécifiques qui s'avèrent maintenant indispensables, comme par exemple, la question de la pollution de l'eau.

La mise en place d'une approche spatio-temporelle intégrée relative à l'évaluation des impacts environnementaux fait ainsi l'objet des développements récents de mes travaux de recherche. Cette orientation s'inscrit dans la continuité des travaux du Centre Energétique et Procédés de MINES ParisTech où de nombreux travaux de visualisation spatiale ont été menés.

J'ai dans un premier temps abordé la question de la géo-localisation de la *performance environnementale* d'une filière énergie renouvelable. Le développement systématique d'une approche spatiale intégrée d'impacts environnementaux est un enjeu majeur actuellement car elle permettra, par exemple, la mise au point de scénarios prospectifs de filières énergétiques et industrielles à l'échelle mondiale.

Une première étude a été initiée en 2008 avec l'évaluation environnementale sur le cycle de vie de systèmes photovoltaïques sur le territoire français⁵⁴. En 2009, j'ai également initié une seconde étude ACV portant sur les impacts environnementaux des systèmes solaires thermiques à appoint gaz et appoint électrique⁵⁵.

Plusieurs indicateurs d'impacts ont été sélectionnés :

1. L'indicateur de changement climatique (gaz à effet de serre exprimé en masse de CO₂ équivalent)
2. L'indicateur d'énergie primaire non renouvelable (exprimé en MJ)

⁵⁴ Blanc, I., Beloin-Saint-Pierre, D., Payet, J., Jacquin, P., Adra, N., Mayer, D., « Espace-PV: key sensitive parameters for environmental impacts of grid-connected PV systems with LCA », **23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference**, ISBN 3-936338-24-8, 1-5 septembre 2008, Valencia, Spain.

⁵⁵ www.esthace.com

3. L'indicateur de toxicité humaine (exprimé en DALY)
4. L'indicateur d'écotoxicité (exprimé en PDF⁵⁶)

Usuellement, de tels indicateurs sont calculés pour l'ensemble du territoire. Nous avons choisi dans cette étude d'effectuer une représentation spatiale (cartographie) de l'indicateur du changement climatique sur le territoire français.

La carte de l'empreinte carbone (Figure 9) représente le CO₂ équivalent émis lors du cycle de vie complet (avant recyclage) d'un système photovoltaïque de technologie monocristalline fabriqué en Europe. Cet impact carbone est rapporté à la production électrique du système photovoltaïque (exprimé en gCO₂/kWh); il est inversement proportionnel à l'irradiation reçue puisque la production est proportionnelle à cette irradiation. Il représente ainsi un indicateur de performance environnementale et non un simple impact environnemental puisque l'impact est rapporté à la production électrique fournie par le panneau.

Cette production varie selon le site d'implantation allant du simple au double entre le nord et le sud de la France. Ces premiers résultats⁵⁷ révèlent ainsi tout l'intérêt d'une évaluation spatiale intégrée pour une meilleure appréhension, par exemple, des enjeux territoriaux de la maîtrise de la ressource énergétique aussi bien sous l'angle ressource (quelle implantation des panneaux bénéficie d'une irradiation solaire optimale ?) que sous l'angle impact (rapporté à la production électrique du panneau).

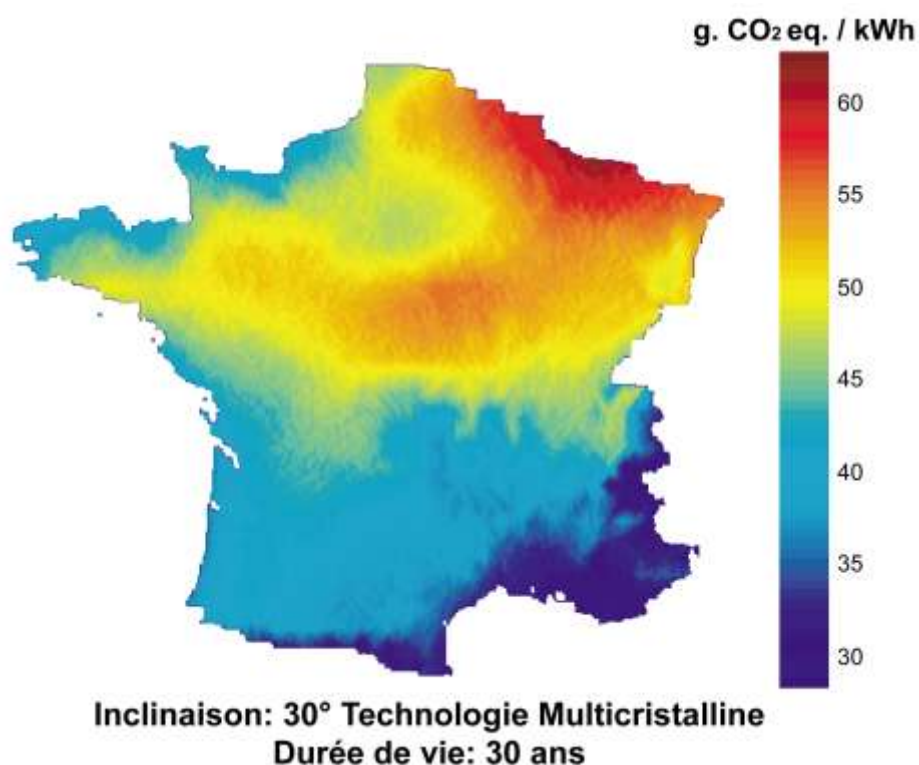


Figure 9: Empreinte carbone d'un système photovoltaïque européen (sans recyclage)

⁵⁶ "Potentially Disappeared Fraction of plant species" (fraction d'espèce disparue par m² et par an)

⁵⁷ Cette étude a débutée en 2008 dans le cadre du Projet ESPACE soutenu par l'ADEME. www.espace-pv.com

Les travaux de recherche se poursuivent actuellement avec la représentation spatiale des impacts indirects liés à la géo-localisation de la fabrication elle-même des panneaux photovoltaïques et donc, avec l'identification de l'impact de la filière énergétique délocalisée induite. Cette question est essentielle pour la compréhension des retombées environnementales des échanges commerciaux mondiaux. Elle doit être intégrée à l'avenir dans les approches ACV pour lesquelles il faut noter l'absence spatio-temporelle de suivi et de traçage complet des filières internationales.

Ces travaux font l'objet d'un article en cours de finalisation et contribuent à la tâche 12 de l'Agence Internationale de l'Energie⁵⁸ (AIE) : « PV Environmental Health and Safety ».

⁵⁸ <http://www.iea-pvps-task12.org/4.0.html>

7 Valorisation des travaux de recherche

7.1 Publications

Mes activités de recherche ont fait l'objet de 12 articles (avec 7 articles de rang A dont 1 soumis et en cours d'évaluation) et de multiples communications dans des colloques nationaux et internationaux. La liste complète de mes publications est fournie en Annexe 2.

7.2 Distinctions

La qualité de mes premiers travaux de recherche a été reconnue par l'attribution d'un prix par l'Association des Ingénieurs de Chauffage Ventilation et Froid (AICVF) pour mon travail de DEA « Simulation de bâtiments multizones par couplage de modèles modaux réduits », DEA, Université Paris VI, Ecole des Mines de Paris, 1987⁵⁹. Ces travaux ont donné lieu au développement du moteur de modélisation COMFIE destiné à l'évaluation du comportement dynamique thermique des bâtiments. En 20 ans, de nombreux exemplaires de ce moteur de modélisation ont été distribués chez les architectes et concepteurs.

7.3 Irrigation du tissu économique

La recherche pratiquée au sein de MINES ParisTech, de l'INERIS, de l'EPFL et de l'UNIL est une recherche sous contrat. Ainsi, j'ai réalisé depuis mes premiers travaux de thèse à MINES ParisTech (en 1986) un ensemble de contrats à finalité exprimée pour des entreprises privées comme EDF, Renault, Gaz de France, Elf Atochem, Solvay, Rhône Poulenc, Lyonnaise des Eaux, ALCOSUISSE, des contrats de recherche pour des grands organismes comme l'ADEME ou le KRRI⁶⁰, ainsi que pour la commission européenne. En 2008 et 2009, j'ai assuré la coordination du projet européen IMEA (IMports Environmental Accounting) au sein du réseau ERA-NET SKEP⁶¹.

Par ailleurs mon expérience de 2 ans comme Directeur de l'équipe des consultants chez Bio Intelligence Service (en 1997 et 1998) m'a permis d'accélérer cette irrigation du tissu économique auprès des industriels avec une activité de transfert de travaux méthodologiques significatifs comme les travaux menés sur la qualité des données dans le domaine des ACV^{62,63} pour l'association RE.CO.R.D⁶⁴ (Recherche coopérative sur les déchets et l'environnement). A la demande de l'ADEME, j'ai également animé la coordination

⁵⁹ Blanc-Sommereux I., Lefebvre, G. « Simulation de bâtiments multizones par couplage de modèles modaux réduits », *Chauffage Ventilation Conditionnement*, n°5 – Mai 1989, pp 31-37.

⁶⁰ Institut de recherche ferroviaire coréen - <http://www.krri.re.kr/krri/>

⁶¹ <http://www.skep-era.net/site/298.asp>

⁶² Blanc, I., Labouze, E., « Analyse du cycle de vie – Evaluation de la qualité des données. » *Techniques de l'ingénieur Environnement*, 1999, vol. G3 n° G5750 pp1-9. ISSN 1282-9080.

⁶³ Rousseaux, P., Labouze, E., Young-Jin Suh, Blanc, I., Gaveglia, V., Navarro, A., « An overall assessment of Life Cycle Inventory Quality – application to the production of polyethylene bottles », *International Journal of LCA*, 2001, Vol 6, n°5 pp. 299-306.

⁶⁴ <http://www.record-net.org/record/activite.php>

technique du comité AVERE⁶⁵ regroupant les industriels français (EDF, PSA, RENAULT, SAFT, OLDHAM et CEAC) avec la réalisation de l'étude ACV du véhicule électrique en France (1998). De même, mon activité en tant qu'expert français dans les travaux ISO de normalisation sur les ACV (impacts environnementaux – 14042) a contribué à cet effort de transfert entre monde académique et monde industriel.

La liste des rapports remis à ces partenaires industriels et institutionnels est intégrée à la fin de ce document dans la liste des publications.

⁶⁵ <http://www.aver-france.org/?page=presentation>

8 Animation de la recherche

8.1 Interne aux laboratoires

J'ai eu l'opportunité d'animer des équipes de recherche de façon significative :

- Au sein de Bio intelligence Service⁶⁶, mon équipe comprenait 4 scientifiques dont 1 chercheur en thèse dans le domaine de la comptabilité environnementale. L'animation de cette équipe consistait à initier et à encadrer les travaux scientifiques dans le domaine des ACV en partenariat avec des équipes de recherche du domaine académique (par exemple le Laboratoire des Ponts et Chaussées).
- Par la suite, au sein du groupe de recherche universitaire GECOS à l'EPFL, j'ai animé un groupe de 5 chercheurs pendant 2 ans sur le thème « Impacts Environnementaux & développement durable ».
- Au sein du Centre d'Energétique et Procédés (CEP) établissement de Sophia Antipolis de MINES ParisTech (que j'ai rejoint en 2006), j'initie la création d'une nouvelle activité sur le domaine de « l'évaluation intégrée des impacts environnementaux ». Je coordonne ainsi les activités internes du laboratoire de cette nouvelle activité. J'assure le co-encadrement de plusieurs thèses (voir chapitre 9.1).

8.2 Externe au laboratoire

L'animation externe au laboratoire correspond à des activités très diverses :

- J'ai assuré la coordination du projet européen IMEA dans le domaine de la comptabilité environnementale (étude des principales méthodologies de comptabilité environnementale qui peuvent être appliquées aux importations de l'Union Européenne dans l'optique d'une approche intégrée). Dans le cadre de ce projet, de juin 2008 à novembre 2009, un atelier de travail européen a été organisé en mars 2009⁶⁷. Celui-ci a permis de réunir les experts européens clés dans ce domaine et de débattre des questions méthodologiques liées à l'évaluation des pollutions indirectes induites par les importations dans le cadre des échanges commerciaux internationaux.
- J'ai présenté également de nombreuses communications au cours de colloques internationaux et de conférences comme invitée, notamment lors de la conférence « Frontiers of Research in Industrial Ecology » à Lausanne (novembre 2006) et de la conférence « Use of indicators for sustainability » à Helsinki (novembre 2004).
- Cette animation externe au laboratoire comprend aussi la participation au comité de lecture de la revue internationale « Journal of Industrial Ecology » assurant ainsi la coordination d'une dizaine de revues critiques d'articles soumis entre 2003 et 2005.

⁶⁶ <http://www.biois.com/default.htm>

⁶⁷ « Accounting the environmental burden of Europe with a world-wide perspective » 20 mars 2009 à Paris www.imea-eu.org

- Mon expérience auprès de divers centres de recherche en France et à l'étranger m'a permis de nouer des collaborations solides au niveau scientifique avec des chercheurs à l'étranger (en Europe, en Amérique du Nord et plus récemment en Chine) permettant ainsi de travailler en réseau sur ces sujets de recherche. Grâce aux travaux sur l'évaluation environnementale de la filière photovoltaïque nous avons été identifiés comme expert pour la France dans le cadre des travaux de l'AIE Tâche 12⁶⁸ (PV Environmental Health and Safety) depuis début 2010.
- Mes travaux dans le domaine des ACV, des méthodes de comptabilité environnementales et des impacts environnementaux, m'ont permis de contribuer directement au débat économique et social actuel. J'ai ainsi participé en 2009, à la réflexion publique dans le cadre des auditions du Conseil Economique, Social et Environnemental sur les indicateurs du développement durable et l'empreinte écologique⁶⁹. Cette dernière est actuellement débattue pour rentrer dans un cadre législatif français et européen.

⁶⁸ <http://www.iea-pvps-task12.org/4.0.html>

⁶⁹ Le Clézio, P. (2009) « L'empreinte écologique et les indicateurs du développement durable », Avis du Conseil Economique, Social et Environnemental.

9 Activités d'enseignement

9.1 Encadrement en 3^{ème} cycle

Au cours de mes activités de recherche au sein de l'INERIS, EPFL et MINES ParisTech, j'ai réalisé un encadrement de la recherche essentiellement au niveau du 3^{ème} cycle.

Doctorats et Post-Docs

Cette activité de formation m'a aussi conduit au co-encadrement puis à l'encadrement d'élèves-chercheurs au cours de leur doctorat et post-doc.

- En 2008-2009, j'ai co-encadré, avec le Professeur Lucien Wald, une thèse sur la comptabilité environnementale qui a été soutenue le 11 décembre 2009 par Damien Friot⁷⁰.
- Une seconde thèse a également démarré en 2008 sur le sujet de l'empreinte carbone et environnementale avec Ashley Crépiat en contrat CIFRE chez AIRBUS. J'en assure le co-encadrement avec Thierry Ranchin.
- Depuis octobre 2009, une troisième thèse, co-encadrée avec Thierry Ranchin, porte sur la « Modélisation des impacts environnementaux dans le cadre du développement des filières énergétiques ». Le doctorant est Didier Beloin-Saint-Pierre.
- Enfin, j'ai co-encadré avec M. Jean-François Coste, Directeur du Laboratoire des Ponts et Chaussées, entre 1996 et 1997, M^{elle} Alice Pereira en Post-Doc. Les travaux très précurseurs de ce Post-Doc ont initié les études ACV appliquées au domaine des infrastructures autoroutières⁷¹.

Masters et Mastères Spécialisés

Encadrements de 9 étudiants en stage de Masters et Mastères Spécialisés sur les sujets suivants :

- Marcel Ferrer Gomez, « Life cycle assessment of composite car-bodies and comparative study of the Ecosystem quality in the current used impact methods », Diplôme en Sciences Naturelles de l'Environnement, mémoire n°115, EPFL & Université de Genève, 2005.
- Denis Bochatay, « Combinaison d'un outil de modélisation thermo-économique et de l'approche d'analyse du cycle de vie », Master of Advanced Studies (MAS) EPFL en Environnement : Sciences, Ingénierie et Management, Octobre 2005.
- Tayeb Jbilou, « Analyse de cycle de vie d'un transformateur », Diplôme Haute Ecole Spécialisée de Suisse Occidentale, 2005.
- Didier Beloin-Saint-Pierre, « ACV des systèmes photovoltaïques intégrés », Master EUREC, MINES ParisTech, 2008.
- Laura Guillon, « Development of a CO₂ sources-sinks mapping model and financial mechanisms study to implement CCS in China » Mastère spécialisé ALEF, MINES ParisTech – Université de Tsinghua, 2008.
- Artur Wyrwa, « Impact of environmental constraints on energy generation and emission control technology mix in Poland in 2020 – Integrated assessment

⁷⁰ Damien Friot « Comptabilité environnementale et mondialisation – quels défis ? quels modèles pour y répondre ? Application à l'évaluation des impacts environnementaux en Chine induits par l'Europe, et aux taxes carbone aux frontières de l'UE » .

⁷¹ Pereira A., Blanc, I., Coste J.F, « Contribution to life cycle assessment: global atmospheric emissions for motorway infrastructures », *Int J. Vehicle Design*, **1998**, Vol 20 n° 1-4 (special issue). ISSN: 0143-3369

Modeling” Mastère spécialisé ALEF, MINES ParisTech – Université de Tsinghua 2008.

- Sandrine Melscouët, « Analysis of the perspectives for renewable energy – Hydrogen hybrid systems future development on the energy market – Technico-economic analysis using a modeling tool” Mastère spécialisé ALEF, MINES ParisTech – Université de Tsinghua, 2008.
- Patricia Andy, « L’analyse du cycle de vie des produits de la construction et l’évaluation environnementale des bâtiments », Mastère Spécialisé en Management Stratégique de Développement Durable, CERAM Business School, 2009.
- Pierryves Padey, « Panorama des impacts environnementaux des filières de production d’électricité », Mastère spécialisé ALEF, MINES ParisTech – Université de Tsinghua 2010.

Participation à des jurys de thèses (hors mes propres doctorants)

Ma contribution aux travaux du 3^{ème} cycle m’a également amenée à participer au jury de thèse de Stéphane Le Pochat « Intégration de l’éco-conception dans les PME : proposition d’une méthode d’appropriation de savoir-faire pour la conception environnementale des produits » Thèse soutenue le 18 novembre 2005 à Arts&Métiers ParisTech (ED-432) en tant qu’examinatrice.

9.2 Enseignements

L’enseignement que je dispense et auquel je participe concerne aussi bien MINES ParisTech, que l’Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), l’Université de Lausanne et SKEMA (ex-CERAM) à Sophia Antipolis.

J’ai participé à la création, la mise en place et au fonctionnement du Mastère spécialisé « International Energy Management » ALEF⁷² (International Energy Management) de MINES ParisTech, l’INSA de Lyon et l’Université de Tsinghua à Pékin de 2006 à 2009. J’ai été en charge de la mise en place du partenariat avec les industriels finançant cet enseignement et ai contribué à la mise au point du programme pédagogique. Je me suis désengagée de l’équipe dirigeante en 2009 pour cause de surcharge de travail.

A MINES ParisTech, j’ai ainsi initié le cours Analyse de Cycle (en anglais) au sein d’ALEF en 2007 et au sein de la nouvelle Formation Spécialisée Bioplastics⁷³ démarrant en 2008.

A l’EPFL, j’ai assuré la formation ACV sur 3 années universitaires au niveau Bachelor, Master et Doctorat :

- Cycle d’études postgrades en énergie : *Analyses de cycle de vie*, 24 h (année 2006)
- Cycle Master « Sciences et ingénierie de l’environnement » : *Analyses de cycle de vie*, 20 h par semestre donnant lieu à 2 crédits ECTS (années 2005/2006 – 2006/2007 et 2007/2008)
- Cycle Doctorat (cours en anglais): *Advances in Life Cycle Impact Assessment to Energy Systems*, 28 h (année 2006) donnant lieu à 2 crédits ECTS

Je participe également à l’enseignement à l’Université de Lausanne (12 h) et à SKEMA (15 h) avec un module sur les indicateurs environnementaux depuis 2005.

⁷² <http://graduateschool.paristech.fr/programme.php?id=591>

⁷³ <http://www-cemef.cma.fr/eng/education/formation/plaquette-bioplastics.pdf>

Auparavant j'avais enseigné l'analyse de cycle de vie dans divers formations universitaires dont celle à l'ENSAM à Chambéry au sein du Master « Ecoconception et Management Environnemental » (1996-1997).

10 Responsabilités administratives

La mise en œuvre de la recherche passe par l'animation administrative d'équipes de recherche que j'ai eu l'occasion d'encadrer de façon significative :

- Au sein de Bio intelligence Service⁷⁴, en tant que directrice de l'équipe scientifique, j'ai encadré une équipe de 4 scientifiques dont 1 chercheur en thèse dans le domaine de la comptabilité environnementale.
- Par la suite, lors de mon activité au sein du groupe de recherche universitaire GECOS à l'EPFL, j'ai animé un groupe de 5 chercheurs pendant 2 ans sur le thème « Impacts Environnementaux & développement durable » puis, à l'issue des 2 ans, j'ai repris la responsabilité de l'ensemble du groupe (20 chercheurs) pendant quelques mois, assurant la transition après le départ du professeur Olivier Joliet à l'Université du Michigan. Cette responsabilité comportait la responsabilité scientifique de nombreuses études et l'encadrement administratif direct de mes collaborateurs.
- Au sein du groupe OMD du Centre d'Energétique et Procédés (CEP) basé à Sophia Antipolis de MINES ParisTech, j'initie la création d'une nouvelle activité sur le domaine de « l'évaluation intégrée des impacts environnementaux ». Je coordonne ainsi les activités internes du laboratoire de cette nouvelle équipe. La responsabilité administrative consiste à procéder au recrutement du personnel scientifique (étudiants, collaborateurs scientifiques), à la validation des travaux des Masters des étudiants, à l'encadrement des thèses et au suivi administratif des conventions de recherche avec nos financeurs (ADEME, Commission Européenne).

⁷⁴ <http://www.biois.com/default.htm>

11 Conclusions & Perspectives

Mon parcours participe à la recherche d'une méthodologie intégrée d'évaluation des impacts environnementaux. Ceci passe par la définition d'un cadre conceptuel de référence et par des applications démontrant les apports d'un tel cadre et l'enrichissant.

Ce cadre permettra de fournir de nouveaux indicateurs objectifs de comptabilité environnementale et d'améliorer le débat technique et sociétal. Les filières énergétiques constituent les cibles privilégiées de mes travaux. En effet, elles sont identifiées comme les plus grandes contributrices aux impacts environnementaux des secteurs industriels et sont donc primordiales dans le bilan global résultant de l'économie mondiale.

Les travaux de recherche initiés jusqu'à présent ont permis de construire des éléments déterminants de ce cadre conceptuel avec :

- la mise en évidence de l'intérêt du concept « DPSIR » offrant une bonne compréhension des liens entre les activités économiques et les impacts résultants,
- la compréhension des limites et de la pertinence de l'analyse de cycle de vie à travers son application dans deux secteurs très énergivores : le bâtiment et les transports,
- le couplage méthodologique d'approches environnementale et économique,
- l'identification et la compréhension des exigences des méthodes de comptabilité environnementales face au défi actuel de la mondialisation,
- le développement d'une approche de calcul de performance environnementale géo-spatialisée pour une filière de production électrique photovoltaïque avec l'outil analyse de cycle de vie.

L'analyse des impacts environnementaux des filières énergétiques distingue nécessairement les impacts directs des impacts indirects. Cette distinction correspond à l'approche cycle de vie qui se révèle très adaptée aux filières d'énergies renouvelables où les impacts directs (associés à la phase d'exploitation) sont quasi-nuls, alors que les impacts indirects (associés à la phase de fabrication fréquemment délocalisée par rapport au lieu d'exploitation) sont les plus significatifs.

Au-delà de l'analyse de la performance environnementale de chacune des filières énergétiques, l'évaluation environnementale de scénarios énergétiques globaux prospectifs à l'échelle d'un pays est un enjeu majeur. Les décisions d'aujourd'hui en terme de choix technologiques de ces filières conditionnent les impacts environnementaux de demain. Des indicateurs de performance environnementale pertinents pour ces scénarios à l'échelle d'un territoire ou d'un pays, doivent rendre compte de la nature de ces impacts potentiellement induits et de leur localisation le long des différentes filières internationales. Ces indicateurs doivent également rendre compte de la contribution effective de ces filières aux impacts induits par la consommation de ce territoire ou pays.

La réalité de la comptabilité énergétique au niveau national avec les statistiques de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) ou celles de l'IPCC (pour les gaz à effet de serre) ne correspond pas à ces exigences car seules les émissions directes des filières sont comptabilisées à l'échelle de chaque pays et non les émissions indirectes. Cette comptabilité énergétique nationale devra nécessairement associer de nouvelles approches de type analyse de cycle de vie par filière pour appréhender dans toute sa globalité les impacts environnementaux et réaffecter à chaque filière énergétique son impact environnemental,

parfois délocalisé comme dans le cas des filières d'énergies renouvelables. L'originalité de ma démarche repose ainsi sur l'intégration de ces impacts indirects associés aux filières énergétiques. Cette intégration est actuellement inexistante et nécessite de considérer les dimensions spatiales et temporelles des impacts sur les cycles de vie des filières.

L'intégration spatio-temporelle des impacts environnementaux au sein des ACV comporte des difficultés méthodologiques inhérentes à cette approche. J'ai identifié cinq limitations majeures :

- (1) l'absence actuelle de suivi et de traçage complet des filières internationales par une géo-localisation des inventaires d'émission dans les bases de données existantes,
- (2) la perte de localisation géographique et de repérage temporel de ces impacts directs ou indirects,
- (3) l'accessibilité non systématique à la qualité des résultats et aux méthodes de quantifications (imprécision du domaine de validité spatio-temporelle et des limites du système considéré, absence fréquente du niveau d'incertitude associé aux résultats),
- (4) la relative faiblesse d'identification et de définition des indicateurs d'impacts locaux en lien avec les exigences d'indicateurs de développement durable correctement identifiés comme tels,
- (5) le décalage temporel existant entre les bornes du cycle de vie effectives des filières étudiées et la validité temporelle des indicateurs d'impacts actuellement considérés⁷⁵.

Ces points critiques relatifs aux ACV handicapent cet outil pour l'évaluation du développement durable et des efforts significatifs de recherche ont été mis en place depuis plusieurs années. Mes travaux de recherche ont été jalonnés par la recherche de solutions méthodologiques relatives au développement d'indicateurs d'impacts géo-localisés pertinents (limitations 1 et 2) et à la qualification des données (limitation 3). Dans le futur, trois axes de recherche, en lien avec ces limitations, seront plus particulièrement développés afin de contribuer à cette méthodologie intégrée d'évaluation des impacts environnementaux. Il s'agit de l'évaluation des incertitudes et de la variabilité des inventaires d'ACV, de la géo-localisation des inventaires des émissions et de l'intégration des caractéristiques temporelles des inventaires.

1. Evaluation des méthodes de caractérisation des incertitudes et de la variabilité des inventaires d'ACV.

Actuellement, les résultats des études ACV (et également pour les études dites de « Bilan Carbone » dont se sont emparés un grand nombre d'entreprises) ne sont pas systématiquement présentés avec des informations relatives à leur incertitude ou à leur variabilité. La connaissance de ces informations sont nécessaires pour conforter l'intérêt de ces résultats⁷⁶. Quelques études présentent des propositions pour évaluer les incertitudes⁷⁷. Il existe notamment une approche basée sur la caractérisation des incertitudes des données d'entrée et sur la propagation de celles-ci avec l'utilisation de méthodes de type Monte-Carlo⁷⁸. Au-delà de l'exploitation de cette approche Monte

⁷⁵ Le cas de la durée de vie des déchets radioactifs ou la problématique temporelle du changement climatique.

⁷⁶ Marland, G., Hamal, K. and Jonas, M., How uncertain are estimates of CO2 emissions ? *Journal of industrial Ecology*, **2009**, 13, 1, pp.4-7.

⁷⁷ Shannon M. Lloyd and Robert Ries, Characterizing, Propagating, and Analyzing Uncertainty in Life-Cycle Assessment, A Survey of Quantitative Approaches, *Journal of Industrial Ecology*, **2007**, pp.161-179

⁷⁸ approche stochastique permettant l'évaluation de la propagation des incertitudes en entrée sur la forme de la distribution des incertitudes des résultats en sortie.

Carlo, il semble nécessaire de clarifier la pertinence et les possibilités d'utilisation d'une approche stochastique ou analytique pour l'évaluation d'incertitudes. Cette recherche se concrétise avec pour première étape, une thèse en contrat CIFRE au sein d'AIRBUS portant sur le « Développement méthodologique d'une empreinte environnementale : le cas d'un constructeur aéronautique ».

Par ailleurs le développement d'une méthode d'analyse systématique de la variabilité des performances environnementales des filières énergétiques avec l'identification des paramètres significatifs est une orientation de recherche qui s'avère très prometteuse. En effet, une première étude sur l'identification de ces paramètres clés de la filière photovoltaïque a établi une hiérarchie de paramètres clés : l'irradiation du lieu d'implantation et l'impact environnemental du mix de production énergétique de ces panneaux seraient les deux paramètres les plus significatifs expliquant la grande disparité des performances environnementales⁷⁹.

2. Développement d'une méthode de géo-localisation des inventaires d'émissions de filières énergétiques dans le cadre des analyses de cycle de vie.

Les résultats des études ACV ne sont pas présentés (ou très rarement) avec des informations relatives à leur géo-localisation. Le traitement des impacts environnementaux sous un angle strictement global et mondial (nécessaire pour traiter l'enjeu du changement climatique par exemple) ne permet pas le traitement d'impacts locaux (indispensable pour traiter des enjeux critiques que sont l'épuisement de la ressource eau et l'impact sur la santé humaine de populations locales par exemple). Il s'agit ici de développer une méthode d'inventaire associant aux émissions polluantes et aux ressources, des informations géo-localisées. Cette recherche est envisagée actuellement pour une filière de production photovoltaïque. Les systèmes de production photovoltaïques (PV) présentent la particularité de « délocaliser » leurs impacts lors de la phase de fabrication des panneaux PV eux-mêmes. Le traitement de la propagation de ces informations géo-localisées contribuera ainsi à l'analyse structurelle géo-localisée des impacts de cette filière.

3. Réflexion sur l'intégration de la dimension temporelle

Une première réflexion a été engagée en ce qui concerne l'aspect temporel des impacts environnementaux. En effet, les émissions environnementales ont lieu à différents instants dans la vie d'un produit, au même titre qu'elles ont lieu à différents endroits. Les impacts environnementaux liés la fin de vie de panneaux photovoltaïques sont à anticiper de 20 ou 30 ans par exemple. De même, les impacts environnementaux liés à la fabrication de systèmes d'énergies dites « renouvelables » sont en réalité, le plus souvent amortis sur toute la durée de vie de ces filières car ils sont exprimés par unité de production. Une réflexion méthodologique est également à approfondir sur la concordance des limites temporelles effectives des systèmes et celles des indicateurs d'impact habituellement considérés (l'horizon temporel des gaz à effet de serre par exemple). Si d'un point de vue conceptuel, la prise en compte de l'aspect temporel est envisageable avec des choix méthodologiques clairement explicités, la mise en œuvre d'une méthode se heurte, par contre, à l'absence de données temporelles systématiques dans les inventaires d'ACV.

⁷⁹ Beloin Saint Pierre, D., Blanc, I. « Variability of European PV electricity environmental impacts assessed through Life Cycle Analysis », article à soumettre (juillet 2010).

Ces développements contribuent à répondre aux attentes identifiées pour les méthodologies de comptabilité environnementale. Il s'agit en particulier de la nécessité de suivi et de traçage complet des filières internationales et de la prise en compte de la nature locale des principaux impacts environnementaux liés au commerce international.

Ce développement d'approche intégrée exploitera les synergies d'échanges et de fusion de données :

- au niveau « environnemental » avec les données locales de potentiel des ressources (énergétiques –fossiles et renouvelables par exemple),
- au niveau « social » avec les données relatives à la population (densité, revenus, etc..),
- au niveau « économique » avec les données relatives au développement actuel et à venir (PIB, niveau d'importation/exportations, , ...),
- au niveau « institutionnel » avec l'accès aux réglementations actuelles ou à venir (Protocole de Kyoto, taxes environnementales européennes ...).

Cette approche intégrée sera développée systématiquement pour l'évaluation de scénarios prospectifs de filières énergétiques et industrielles à l'échelle nationale, européenne, voire mondiale.

Dans ce même contexte, la Commission Européenne a lancé une réflexion avec l'appel d'offre du FP7 en 2007 qui a donné lieu au projet EnerGEO⁸⁰. Ce projet, coordonné par le TNO et dont le CEP MINES ParisTech est partenaire, a pour objectif de développer une stratégie pour une évaluation globale de l'exploitation des ressources énergétiques sur l'environnement et sur les écosystèmes et d'explorer cette stratégie pour des ressources énergétiques au niveau mondial.

Ce développement sera articulé autour d'une plateforme intégrée d'évaluation des impacts environnementaux. Celle-ci est actuellement en cours de discussion avec nos partenaires chercheurs européens. L'exemple d'une telle plateforme d'évaluation, illustrée sur la Figure 10, s'appuie sur le cadre conceptuel du DPSIR tel que décrit précédemment. Cette plateforme permettra ainsi d'établir des liens entre des modèles existants pour les inventaires d'émission (EDGAR, GAINS, ...) des filières énergétiques et les modèles d'évaluation d'impact les plus pertinents. La simulation de scénarios énergétiques prospectifs devra permettre d'estimer la distribution des pressions et impacts environnementaux à l'échelle mondiale.

Cette plateforme devrait être un outil favorisant significativement les échanges scientifiques entre les équipes qui permettra également une diffusion très efficace des méthodologies développées.

⁸⁰ "Energy observation system for monitoring and assessment of the environmental impact of energy use".
Projet européen ayant démarré en novembre 2009 pour une durée de 4 années. <http://www.energeo-project.eu/>

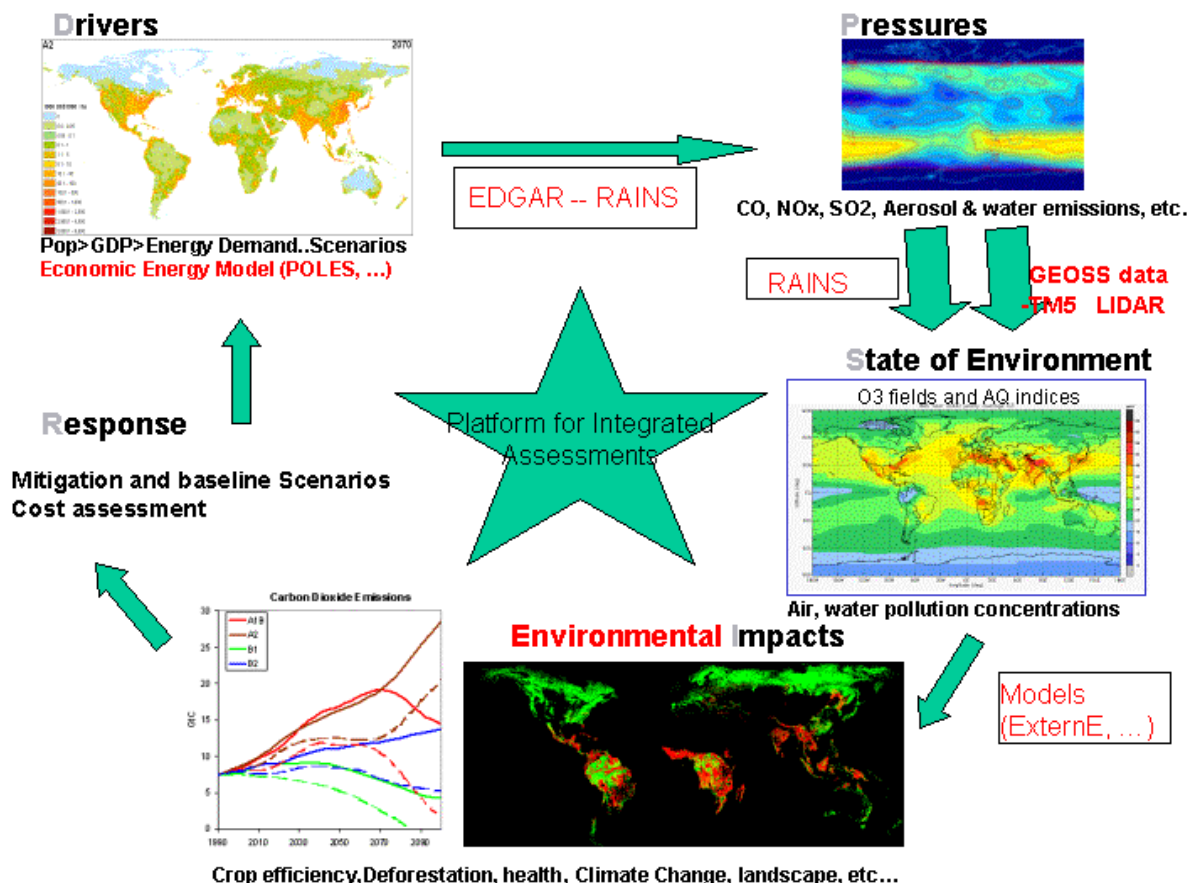


Figure 10: Principe du développement d'une plateforme d'évaluation intégrée des impacts environnementaux pour la mise au point de scénarios prospectifs de filières énergétiques à l'échelle mondiale (Projet FP7 EnerGEO)

Au-delà de ces développements méthodologiques, un effort particulier sera consacré à la dissémination de cette approche intégrée d'évaluation. Des attentes fortes sont exprimées et tout spécifiquement par la Commission Européenne comme l'atteste sa contribution au projet EnerGEO.

Mes activités telles qu'elles sont décrites dans ce document de synthèse devraient se poursuivre dans les prochaines années au sein de MINES ParisTech. Le cadre qui m'y est offert me permet de développer harmonieusement et de manière efficace la recherche qui m'intéresse. La diffusion de mes résultats se poursuivra en maintenant le niveau de mes publications en lien avec les scientifiques d'autres organismes de recherche au niveau international avec lesquelles j'ai initié les coopérations actuelles. Par ailleurs je vais continuer à dispenser un enseignement de haut niveau sur ces thématiques spécifiques comme celui mise en œuvre dans le cadre du Mastère spécialisé ALEF à MINES ParisTech qui sera étendu à l'enseignement du Corps des Mines à la rentrée 2010.

Annexe 1 : Curriculum vitae

Isabelle BLANC

Isabelle.blanc@mines-paristech.fr

Fonction actuelle

Enseignant-Chercheur à MINES ParisTech, Etablissement de Sophia Antipolis, Centre Energétique et Procédés depuis mai 2006.

Mes travaux de recherche s'inscrivent dans une logique de définition d'un cadre conceptuel de référence pour l'évaluation intégrée des impacts environnementaux et elle s'appuie sur trois éléments fondateurs :

- le concept de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) de filières et de produits industriels que j'ai contribué à élargir avec la prise en compte des aspects géographiques et temporels des impacts environnementaux,
- la vision mondialisée du binôme consommation/production et la compréhension de l'éclatement spatial des chaînes de production/consommation à travers le monde.
- la visualisation spatiale et la géographie numérique permettant l'intégration/fusion des indicateurs environnementaux avec des données de type économique et social. Celles-ci sont indispensables à l'évaluation de scénarios prospectifs de développement intégrant la localisation géographique des impacts environnementaux.

Les filières énergétiques constituent les cibles privilégiées de mes travaux.

Responsable du partenariat industriel du Mastère Spécialisé international ALEF et contribution à la mise au point du programme pédagogique (2006-2008).

Négociation et conduite de conventions de recherche - Enseignement - Encadrement de stagiaires, ingénieurs de recherche et doctorants.

Parcours professionnel

1986-1992 : Chercheur Ecole des Mines de Paris, CENERG (Paris)

1992-1996 : Chercheur INERIS (Verneuil en Halatte)

1997-1998 : Directrice consultants BIO Intelligence Service (Paris)

2003-2005 : Enseignant-Chercheur Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse)

2005-2006 : Chercheur IPTEH, Université de Lausanne (Suisse)

2006-2010 : Enseignant-Chercheur MINES ParisTech, CEP (Sophia Antipolis)

Formation & Diplômes

Ingénieur, Ecole Polytechnique Féminine 1984

Master of Science, Université du Wisconsin (USA) 1985

DEA, Paris VI-Ecole des Mines de Paris 1987

Doctorat en Energétique, Ecole des Mines de Paris 1991 : « Etude du couplage dynamique de composants du bâtiment par synthèse modale ».

Encadrements

- Thèses de doctorat en cours : 2 (encadrement 80 %),
- Thèse soutenue en décembre 2009 par Damien Friot : « Comptabilité environnementale et mondialisation – quels défis ? quels modèles pour y répondre ? Application à l'évaluation des impacts environnementaux en Chine induits par l'Europe, et aux taxes carbone aux frontières de l'UE » (encadrement 50 %),
- Post-doc d'Alice Pereira en collaboration avec J.F Coste, Directeur du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées en 1997-1998,
- Masters et Mastères spécialisés : 9
- Encadrement d'équipes comprenant des chercheurs et des ingénieurs (MINES ParisTech, Bio Intelligence Service, EPFL).

Publications

- Articles dans des revues à comité de lecture : 11
- Communications au niveau international avec comité de lecture : 25
- Rapports de recherche contractuels : 25

Projets européens de recherche

- **ENERGEO**: Energy observation for monitoring and assessment of the environmental impact of energy use, 2009-2013. www.energeo-project.eu
- **IMEA (projet SKEP): Imports Environmental Accounting**. Coordinatrice du projet européen, 2008-2009. www.imea-eu.org
- **EPSILON**: EU project on regional sustainability assessment. Responsable du projet pour l'EPFL. 2003-2005.
- **BRITE-EURAM program**: How to integrate LCA in the design procedure for a new product in the car industry, 1997-1998.
- **REGENER**: "EU methodology for the evaluation of environmental impact of buildings", Responsable du projet pour l'INERIS, 1997.
- **PASSYS**: Projet sur l'énergie solaire passive. Transferts des résultats au CEN (Comité Européen de Normalisation), CENERG Ecole des Mines de Paris, 1986-1992.

Animation de comités d'expert

- **Comité AVERE** (EDF, ADEME, Renault, PSA, Industriels des batteries) : ACV du véhicule électrique, 1998.
- **Association RE.C.O.R.D** (EDF, Gaz de France, ADEME, PSA, Renault, Rhône Poulenc, Elf Atochem, Solvay) : Développement d'une méthode d'évaluation de la qualité des données ACV, 1997.

Normalisation internationale Analyse de Cycle de Vie

- Expert ISO TC207 - 14042 « Environmental Impact assessments: » Elaboration de la contribution française, communication internationale et négociation, 1993-1998.

Enseignements & activités pédagogiques

- Contribution à la mise au point du programme pédagogique du Mastère Spécialisé franco-chinois ALEF "Alternatives pour l'énergie du futur" (2006 - 2008)
<http://graduateschool.paristech.fr/programme.php?id=591>
- Formation « Analyse de Cycle de Vie » EPFL (2005 - 2008)
 - Cycle d'études postgrade en énergie : *Analyses de cycle de vie*, 14h (année 2006)
 - Cycle Master « Sciences et ingénierie de l'environnement » : *Analyses de cycle de vie*, 20h par semestre - 2 crédits ECTS (années 2005/2006, 2006/2007 et 2007/2008)
 - Cycle Doctorat (cours en anglais): *Advances in Life Cycle Impact Assessment to Energy Systems*, 28h (année 2006) - 2 crédits ECTS
- Formation « Analyse de Cycle de Vie » MINES ParisTech (2007 - 2010)
 - Mastère Spécialisé ALEF 40h/an (cours en anglais)
 - Executive Master « Management qualité, sécurité, environnement et développement durable »
<http://graduateschool.paristech.fr/programme.php?id=1196>
- Formation « Indicateurs de Durabilité » (2007 - 2010)
 - Master Université de Lausanne
 - SKEMA Business school Master « Management Stratégique du Développement Durable » (Sophia antipolis)

Activités scientifiques et associatives

- Activité éditoriale au sein du comité éditorial du « Journal of Industrial Ecology » (2003-2005)
- Membre fondateur de l'ACMIP : Association des Chercheurs de l'Ecole des Mines de Paris (1990) <http://acmip.ensmp.fr/wiki/doku.php?id=start>

Auditions et expertises à des commissions nationales

- Audition du 31 mars 2009 au Conseil économique, social et environnemental (CESE) sur les indicateurs du développement durable et l'empreinte écologique contribuant à l'avis du CESE présenté par M. Philippe Le Clézio, rapporteur au nom de la commission adhoc, Paris. Disponible sur : <http://lesrapports.ladocumentationfrancaise.fr/BRP/094000249/0000.pdf>
- Contribution à *Une expertise de l'empreinte écologique*, Commissariat Général au Développement Durable, Service de l'observation et des statistiques, Etudes et Documents, n°16, janvier 2010, ISBN : 978-2-911089-85-5, © SOeS, 2010. Disponible sur : http://www.ifen.fr/uploads/media/etudes_documentsN16.pdf

Prix

Prix jeune décerné par l' Association des Ingénieurs de Chauffage Ventilation et Froid (AICVF) pour le DEA « Simulation de bâtiments multizones par couplage de modèles modaux réduits »

Annexe 2 : Liste détaillée des publications

Liste des publications

mai 2010

DEA et Thèse

« Simulation de bâtiments multizones par couplage de modèles modaux réduits », DEA, Université Paris VI, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1987. Récompensé par le prix AICVF en 1988.

« Etude du couplage dynamique de composant d'un bâtiment par synthèse modale », Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1991.

Articles dans des revues à comité de lecture (rang A⁸¹)

Beloin Saint Pierre, D., Blanc, I. « Environmental impacts of PV systems : an LCA sensitivity analysis on the production of solar panels », à soumettre.

Corbière Nicollier, T., Blanc, I., Erkman, S. “Defining a global criteria based framework for the sustainability of bioethanol supply chains. Application to the Swiss dilemma: is local produced bioethanol more sustainable than bioethanol imported from Brazil?”, *soumis à Ecological indicators en octobre 2009*.

Schwab Castella, P., Blanc, I., Gomez M., Ecabert, B., Wakeman, M., Manson, J-A., Emery, Han, S-Ho, D., Hong, J., Jolliet, O. “Integrating life cycle costs and environmental impacts of composite car-bodies for a Korean train”, *International Journal of LCA*, 2009, 14, n° 5, pp. 429-442. DOI: 10.1007/s11367-009-0096-2

Blanc, I., Friot, D., Jolliet, O., Margni, M., «Towards a new index for environmental sustainability based on a DALY weighting approach», *Sustainable Development*, 2008, 16, pp. 251-260. DOI: 10.1002/sd.376

⁸¹ Le classement des revues par rangs (rang A, autres rangs) est effectué à partir de la sélection du Journal Citation Reports (JCR) produit par l'ISI (Institute for Scientific Information), qui fournit des données statistiques concernant les citations de revues incluant le Facteur d'Impact (Impact Factor) : http://isiwebknowledge.com/products_tools/analytical/jcr/ Sont considérées de rang A les revues figurant au JCR.

Rousseaux, P., Labouze, E., Young-Jin Suh, Blanc, I., Gaveglia, V., Navarro, A., « An overall assessment of Life Cycle Inventory Quality – application to the production of polyethylene bottles », *International Journal of LCA*, 2001, 6, n°5 pp. 299-306. DOI: 10.1007/BF02978792

Pereira A., Blanc, I., Coste J.F., « Contribution to life cycle assessment: global atmospheric emissions for motorway infrastructures », *Int J. Vehicle Design*, 1998, 20, Issue 1/2/3/4 (special issue), pp.201-209. ISSN: 0143-3369. DOI: 10.1504/IJVD.1998.001836

Polster B., Peuportier B., Blanc I., Diaz Pedregal P., Gobin C., Durand E, « Evaluation of the environmental quality of buildings towards a more environmentally conscious design », *Solar Energy*, 1996, 57, n°3, pp. 219-230. DOI : [10.1016/S0038-092X\(96\)00071-0](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(96)00071-0)

Peuportier B., Blanc Sommereux I. « Simulation tool with its expert interface for the thermal design of multizone buildings », *Int. J. Solar Energy*, 1990, Vol 8, Issue 2, pp.109-120. DOI: 10.1080/01425919008909714

Articles dans des revues à comité de lecture (autre rang)

Piguet, F, Blanc, I., Corbière-Nicollier, T, Erkman, S, « L’empreinte Ecologique : un indicateur ambigu », *Futuribles*, n° 334, pp.5-24. ISSN 0337 307 X, octobre 2007. DOI: 10.1051/futur:20073345

Pereira, A. Blanc, I., Coste, J.F., « Evaluation the global impacts of motorways: an application of the Life Cycle Assessment », *Roads*, World Road Association, January 1999, n°301, pp. 31-40, ISSN 0004-556X.

Blanc, I., Labouze, E., « Analyse du cycle de vie – Evaluation de la qualité des données. » *Techniques de l’ingénieur Environnement*, 1999, vol. G3, n° G5750, pp 1-9. ISSN 1282-9080.

Pereira, A Blanc, I., Coste, J.F., « La consommation énergétique globale des infrastructures autoroutières – Contribution à l’analyse du cycle de vie. » *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées* – 1997, n°210, July/August, pp. 95-104.

Blanc-Sommereux I., Lefebvre, G. « Simulation de bâtiments multizones par couplage de modèles modaux réduits », *Chauffage Ventilation Conditionnement*, vol 65, n°5, mai 1989, pp. 31-37.

Article sans comité de lecture

« ACV Infos – Les dossiers de Veille sur l’approche Cycle de vie », n°4 octobre-novembre 1998. 10p.

Conférences ou communications internationales avec publication complète des actes et avec comité de lecture

Beloin-Saint-Pierre, D., Blanc, I., Payet, J., Jacquin, P., Adra, N., Mayer, D., « Environmental impacts of PV systems : effects of energy sources used in production of solar panels», *In Proceedings of the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 21-25 September 2009, Hamburg, Germany, ISBN 3-936338-25-6, pp. 451-4520. DOI: 10.4229/24thEUPVSEC2009-6DV.3.7

Blanc, I., Beloin-Saint-Pierre, D., Payet, J., Jacquin, P., Adra, N., Mayer, D., « Espace-PV: key sensitive parameters for environmental impacts of grid-connected PV systems with LCA », *In Proceedings of the 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 1-5 September 2008, Valencia, Spain, ISBN 3-936338-24-8, pp. 3779-3781. DOI: 10.4229/23rdEUPVSEC2008-6DV.5.9

Blanc, I., Peuportier, B., “Eco-design of buildings and comparison of materials”, *In Proceedings of the 1st International seminar on Society & Materials, SAMI*, [CD ROM], 6-7 mars 2007, Séville, Spain, European Commission, Directorate General, Joint Research Center.

Ecabert, B., Wakeman, M.D., Blanc, I., Jolliet, O., Lee, S. and Månson, J.-A. E., “Coupled cost and life cycle modelling of composite car-bodies for the Korean tilting train express project” *In Proceedings of the 27th SAMPE International Conference Europe*, 27-29 mars 2006, Paris.

Ferrer, M., Blanc, I., Schwab, P., Jolliet, O., “Environmental relevance of composite materials for trains through LCA”. *In Proceedings of the LCM 2005 International Conference Innovation by Life Cycle Management*, 5-7 September 2005, Barcelona, Spain, Francesc Castells Piqué and Joan Rieradevall Editors, ISBN 84-609-6566-X, pp.194-198.

Wenger, Y., Blanc, I., Jolliet, O., « Fate and exposure to organic compounds emitted indoors » *In Proceedings of the CISBAT 2005 Conference Renewables in a changing climate – Innovation in building envelopes and environmental systems*, EPFL, Lausanne, Switzerland, 28 September 2005, Copyright © 2005 EPFL, pp. 373-378.

Friot, D., Blanc, I., Jolliet O., “Improvement of regional sustainability: an ecological-economic framework integrating trade & air pollutants transfers”. *In Proceedings of the 3rd International Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment*, [CD ROM], 5-7 June 2005, Dubrovnik, Croatia, edited by Naim H Afgan (Instituto Superior Tecnico, Portugal), željko Bogdan (University of Zagreb, Croatia), Neven Duić (University of Zagreb, Croatia), & Zvonimir Guzović (University of Zagreb, Croatia), Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Zagreb, 2007, ISBN: 978-981-270-640-9, pp 429-437.

Blanc, I., Friot, D., Margni, M. and Jolliet O. “How to assess the Environmental State of EU regions with the global concept of sustainability?” *In Proceedings of the 18th International Conference Informatics for Environmental Protection, ENVIROINFO Conference*, 21-23 October 2004, Geneva, Switzerland, Editions du Tricorne, Geneva, 2004, ISBN: 28 29 30

275-3, pp. 134-146. Available on line:
<http://www.enviroinfo2004.org/cdrom/Datas/BlancI.htm>

Blanc I., Pereira A., Coste J.F, « Contribution to Life Cycle Assessment of highway Infrastructures », *SAE Conference, International Congress & Exposition, Session: Design For The Environment*, Technical paper n° 981153, ISSN0148-7191, Detroit, USA, 23-26 February 1998. <http://www.sae.org/technical/papers/981153>

Blanc Sommereux, I., "Assessment of the environmental impacts in life cycle analysis", *In Proceedings of the 3rd International Wood Preservation Symposium, The Challenge : Safety and Environment*, 6-7 février 1995, Cannes Mandelieu, France, Publisher, Stockholm, Sweden : IRG Secretariat, pp 411-425.

Peuportier, B., Polster, B., Blanc Sommereux, I., "Development of an object oriented model for the assessment of the environment quality of buildings", *In Proceedings of the 1st Int. Conf., Buildings and the Environment*, CIB Task group 8, mai 1994, Session: Assessment, paper n°6, pp. 1-8.

Blanc Sommereux, I., Peuportier, B., « A bioclimatic design aid based upon multizone simulation », *In Proceedings of the ISES Solar World Congress*, août 1991, Denver, Colorado, USA, [M. Arden](#) & [S. Burley](#) editors, Elsevier Science & Technology Books, ISBN: 008041690X, 1991, pp. 3503-3508.

Flament, B., Blanc Sommereux, I., Neveu, A., « A new technique for thermal modelling of building: the modal synthesis », *In Proceedings of the 2nd Int. Conf., Int. Building Performance Simulation Association*, IBPSA'91, Sophia Antipolis, France, 20-22 août 1991, pp. 300-307. Available on line:
http://www.ibpsa.org/proceedings/BS1991/BS91_300_307.pdf

Peuportier, B., Blanc Sommereux, I., « COMFIE: a software for passive solar design », *In Proceedings of the 2nd Int. Conf., Int. Building Performance Simulation Association*, IBPSA'91, Sophia Antipolis, France, 20-22 août 1991, pp. 521-527. Available on line:
http://www.ibpsa.org/proceedings/BS1991/BS91_521_527.pdf

Peuportier, B., Blanc Sommereux, I., « Simulation tool with its expert interface for passive solar design », *In Proceedings of the ASME International Solar Energy Conference*, Miami, USA, april 1990, pp 263-269.

Lefebvre, G., Blanc Sommereux, I., « Analysis of building inertia using a modal description », *In Proceedings of the 6th International PLEA Conference: Energy and buildings for temperate climates: a Mediterranean regional approach*, 27-31 July 1988, Porto, Portugal, Pergamon Press, Oxford, ISBN: 0080366171, 1989, pp 397-407.

Blanc Sommereux, I., Beckman W. and Duffie J., «Unutilizability method for the design of sunspaces», *In Proceedings 1987 European Conference on Architecture*, 6-10 April 1987, Munich, Germany, edited by W. Palz, published by H. S. Stephens & Associates, ISBN 0951027123, 1987, pp 46-48.

Sommereux-Blanc, I., Beckman, W.A., Duffie, J.A. Unutilizabilty Method for the Design of Sunspaces. *In Proceedings UK Section ISES, Birmingham, United Kingdom, 1986.*

Conférences ou communications internationales avec publication des résumés et avec comité de lecture

Friot., D, Blanc, I., Steinberger, J., Tukker, A., Mäenpää, I., Vercalsteren, A., “IMEA: IMports Environmental Accounting: towards an integrated framework”, 5th International Conference on Industrial Ecology, *Transition towards Sustainability*, 2009 ISIE Conference, 21-24 juin 2009, Lisboa, Portugal, p 299. Available on line:

<http://www.is4ie.org/Content/Documents/Document.ashx?DocId=61295>

Friot, D., Blanc, I., Steinberger, J., Tukker, A., Mäenpää., I, Vercalsteren, A., “Regionalisation of Life Cycle Thinking: towards an integrated framework for assessing trans-boundary environmental issues”, SETAC Europe 19th annual meeting, Göteborg, Sweden, 31 mai- 4 juin 2009.

Jolliet, O., Blanc, I., Schwab, P., Gomez, M., Ecabert, B., Manson, J.A., Wakeman, M., Emery, D., “Coupled Cost and Environmental Life Cycle Modelling of Composite Car-Bodies for a Korean Tilting Train” International Life Cycle Assessment and Management Conference 2007, p 126, Portland, Oregon, USA, octobre 2007. Available on line: <http://www.lcacenter.org/InLCA2007/2007-abstract-book.pdf>

Blanc, I., Schwab, P., Gomez, M., Jolliet, O., “Towards the Eco-design of a tilting train in Korea: Applying LCA to design alternatives”, *In Proceedings of the International Congress Sustainable management in action, SMIA 05*, Genève, Suisse, University of Geneva, UNIMAIL, 19-20 septembre 2005.

Blanc, I., Friot, D., Jolliet, O., “Assessing Regional Sustainability with the EPSILON Project”, *In Proceedings of the International Congress Sustainable management in action, SMIA 05*, Genève, Suisse, University of Geneva, UNIMAIL, 19-20 septembre 2005.

Blanc, I., Friot, D., Jolliet, O., “Assessing environmental sustainability within the EPSILON project: first version of an innovative approach”. *In Proceedings of the 3rd International Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment*, 5-7 June 2005, Dubrovnik, Croatia, Dr Zvonimir Guzovic editor, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Zagreb, 2005, [CD ROM], ISBN 953-6313-70-7, p 38.

Conférences invitées internationales

Blanc, I., Corbière-Nicollier, T., Erkman, S., « Swiss bioethanol supply in 2010, What are the sustainability stakes of two scenarios for Switzerland ?”, *Frontiers of Research in Industrial Ecology, Workshop 6 : The Future of Energetic Systems*, Lausanne, Switzerland, 30 novembre 2006.

Blanc, I., Friot, D., Margni, M. and Jolliet O. "Aggregation issues for EPSILON sustainability indicators", PEER Conference, Use of indicators for sustainability, Helsinki, Finland, novembre 2004.

Autres communications dans des congrès internationaux et nationaux (sans acte)

Blanc, I., Friot, D., Jolliet, J., Schaller, J., Gherke, T., Bonazountas, M., Sabanegh, R., "Benchmarking European regions with GIS sustainability indicators Challenges from the EPSILON project", Visualising and presenting indicators systems, Office Fédéral de la Statistique, Neuchâtel, mars 2005. Available on line (20 transparents):

<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/en/index/themen/21/11/visu/02.parsys.0004.downloadList.00041.DownloadFile.tmp/epsilonepfl.pdf>

Peuportier, B., Blanc-Sommereux, I., « COMFIE, Logiciel d'architecture solaire », Séminaire architecture (bio)climatique, AFME, Sophia Antipolis, juillet 1991.

Auditions et expertises à des commissions nationales

Les indicateurs du développement durable et l'empreinte écologique, Avis du Conseil économique, social et environnemental présenté par M. Philippe Le Clézio, rapporteur au nom de la commission adhoc, Paris, (audition du 31 mars 2009). Available on line : <http://lesrapports.ladocumentationfrancaise.fr/BRP/094000249/0000.pdf>

Une expertise de l'empreinte écologique, Commissariat Général au Développement Durable, Service de l'observation et des statistiques, Etudes et Documents, n°16, janvier 2010, ISBN : 978-2-911089-85-5, © SOSe, 2010. Available on line : http://www.ifen.fr/uploads/media/etudes_documentsN16.pdf

Rapports de recherche contractuels

Projet IMEA financé par l'ADEME dans le cadre du réseau SKEP – ERANET (2008 - 2009)

Blanc, Isabelle., Friot., Damien, Cabon., Johanna, Mäenpää., Ilmo, Steinberger., Julia, Krausmann., Fridolin, Erb., Karl-Heinz, Tukker., Arnold, Vercalsteren., An, Van Hoof., Veronique: *Evaluation of Environmental Accounting Methodologies for the assessment of global environmental impacts of traded goods and services*. Report to SKEP, 2009, 221 p. www.imea-eu.org

Projets ESPACE et ESTHACE financés par l'ADEME (2008-2009)

Eco-conception d'un Système Photovoltaïque par l'Analyse de son Cycle de vie et son impact sur l'Environnement, Projet ESPACE 2, TRANSENERGIE – ARMINES – PHK Consultants

– SETEMIP Environnement, Convention ADEME n°0905C0024, Rapport final, 2009, 219 p. www.espace-pv.eu

Eco-conception d'un Système Solaire Thermique individuel par l'Analyse de son Cycle de vie et son impact sur l'Environnement, Projet ESTHACE / ACV ST, TRANSENERGIE – ARMINES – PHK Consultants – SETEMIP Environnement, Convention ADEME n°0905C0023, Rapport final, 2009, 102 p. www.esthace.eu

Adra, N., Blanc, I., Beloin-Saint-Pierre, D., Payet, J., Jacquin, P., *Eco-conception d'un Système Photovoltaïque par l'Analyse de son Cycle de vie et son impact sur l'Environnement*, Projet ESPACE, TRANSENERGIE – ARMINES – PHK Consultants – SETEMIP Environnement, Convention ADEME n°0705C0095, Rapport final, 2008, 89 p. www.espace-pv.eu

Projet « Durabilité du Bioéthanol » financé par ALCOSUISSE (2006)

Blanc, I., Corbière-Nicollier, T., Erkman, S., *Couverture de la demande Suisse en bioéthanol à l'horizon 2010 – Production domestique de 50% des besoins versus 100% d'importation du Brésil – Quels sont les enjeux de la durabilité de ces deux scénarios pour la Suisse ?*, Rapport Final, UNIL –ALCOSUISSE, 2006, 48 p + annexes.

Projet “ Impact économique et environnemental du train régional coréen” financé par le KRRI (2005)

Blanc, I., Ecabert, B., Ferrer, M., Jolliet, O., Manson, J., Schwab, P., Wakeman, M., *Composite car bodies for the Korean Tilting train Express Project – An assessment of cost and environmental impact*, Rapport final, EPFL – KRRI, 2005, 107 p.

Projet PACOGEN financé par le SCANE (2005)

Bochatay, D., Blanc, I., Jolliet, O., Maréchal, F., Mana-Ratsimandresy, T., Beck, R., [Projet PACOGEN, Evaluation économique et environnementale de systèmes énergétiques à usage résidentiel](#)

Rapport Final, EPFL-ECOINTESYS-SCANE, 2005, 41 p, Disponible en ligne : <http://infoscience.epfl.ch/record/59329/files/>

Projet EPSILON financé par la Commission Européenne IST (2003 - 2005)

Blanc, I., Friot, D., Jolliet, O., *EPSILON WP3 : The regional sustainability model extension (framework and indicators)*, Rapport final, EPFL - EU EPSILON Project n° IST-2001-32389, 2005, 55 p.

Jolliet, O., Friot, D., Blanc, I., Cenni, F., Corbière-Nicollier, T., Margni, M., *EPSILON WP3 : The sustainability model framework and indicators*, Rapport final, EPFL – EU, EPSILON Project n° IST-2001-32389, 2003, 54 p.

Projet Véhicule électrique financé par l'AVERE (1997 – 1998)

Blanc, I., Labouze, E., *Analyse du cycle de vie relative au véhicule électrique*, Rapport final, AVERE – BIO Intelligence Service, 1998, 16 p + annexes.

Projet « Qualité des données ACV » financé par RE.C.O.R.D (1998)

Labouze, E., Blanc, I., Rousseaux, P., Gaveglia, V., *Evaluation de la qualité des données d'inventaire des ACV*, Rapport final, Bio Intelligence Service, INSA Lyon LAEPSI Polden, RE.C.O.R.D, 1998, Tome 1, 24 p. et Tome 2 (Guide méthodologique à l'usage des industriels membres de RE.C.O.R.D), 76 p.

Projet « ACV des infrastructures autoroutières » financé par la DRAST (1996 - 1998)

Pereira, A., Coste, JF., Blanc, I., *Contribution de l'approche cycle de vie des infrastructures autoroutières au développement durable*, Rapport final convention DRAST n° 97.70.004 LCPC – BIO Intelligence Service, 1998, vol 1 : 77 p., vol 2 : 39 p.

Coste, JF., Pereira, A., Blanc, I., *Evaluation globale des impacts des infrastructures autoroutières – Contribution à l'analyse de cycle de vie* – Rapport final Convention n° 95.01.166 LCPC – INERIS – AFSA, 1996, vol 1 : 35 p., vol 2 : 57 p.

Projet « Evaluation des logiciels ACV » financé par EDF (1997)

Blanc, I., *Evaluation des logiciels d'ACV*, Synthèse, n° E51/7G2533, EDF – BIO Intelligence service, 1997, 51 p.

Projet REGENER financé par la Commission Européenne DG XII (1996 - 1997)

Peuportier, B., Kohler, N., Blanc-Sommereux, I., et al, *REGENER European methodology for the evaluation of Environmental impact of buildings*, Rapport final, EU DGXII, Programme APAS contrat RENA-CT940033, 1997, 563 p.

Projet EQUER financé par le Plan Construction et Architecture (1994)

Peuportier, B., Polster, B., Blanc-Sommereux, I., Gobin, D., Durand, E., Diaz Pedregal, P., *Projet EQUER*, Rapport Final PCA – Ecole des Mines de Paris – INERIS – DUMEZ – S'PACE, 1994, 221 p.

Projet « Analyse des impacts environnementaux » INERIS (1994)

Blanc, I., *Analyse des impacts environnementaux*, Rapport final, INERIS, 1994, 83 p.

Projet SYMBOL financé par l'ADEME (1988 – 1991)

Blanc-Sommereux I., Flament B., Lefebvre G., Neveu A., Oulefki A., *Projet SYMBOL*, Rapport final ADEME - ARMINES 1990-1991, 260 p.

Blanc-Sommereux I., Caplain G., Ebert R., Flament B., Lefebvre G., Neveu A., Peuportier B., *Projet SYMBOL*, Rapport final ARMINES - AFME 1988-1989, 260 p.

Projet Européen PASSYS financé par la DG XII Science Research & Development (1986 – 1989)

Lefebvre G., Blanc-Sommereux I., "Validation and development of a European correlation-based method : comfort", in *PASSYS I: Simplified design tools*, Rapport final AFME - ARMINES - CEC, juil. 1989, 4 p.

Lefebvre G., Blanc-Sommereux I., "State of the art and future trends: comfort", in *PASSYS I: Simplified design tools*, Rapport final AFME - ARMINES - CEC, juil. 1989, 11 p.

Lefebvre G., Blanc-Sommereux I., "Comfort analysis : a litterature review" in *PASSYS I: Simplified design tools*, Rapport final AFME - ARMINES - CEC, juil. 1989, 14 p.

Adnot J., Blanc-Sommereux I., Flament B., Lefebvre G., *PASSYS - Modèles et outils de conception*, Rapport final AFME - ARMINES - CEC, 1988, 152 p.

Adnot J., Blanc-Sommereux I., Brejon P., Lefebvre G., *PASSYS - Modèles et outils de conception*, Rapport final AFME - ARMINES - CEC, 1987, 59 p.

Adnot J., Blanc-Sommereux I., Brejon P., Lefebvre G., *PASSYS - Modèles et outils de conception*, Rapport final AFME - ARMINES - CEC, 1986, 67 p.

Sigles et acronymes

AICVF	Association des Ingénieurs en Climatique, Ventilation et Froid
AFME	Agence Française de la Maîtrise de l'Energie
AVERE	Association pour le développement du transport et de la mobilité électriques
EPSILON	Environmental Policy via Sustainability Indicators on a European-wide NUTS-III level
LCA	Life Cycle Assessment – Analyse de cycle de vie
PCA	Plan Construction et Architecture
RE.C.O.R.D	Recherche Coopérative sur les déchets et l'environnement
SCANE	Service Cantonal de l'Energie (Genève)
SKEP	Scientific Knowledge for Environmental Protection http://www.skep-era.net/site/2.asp

Annexe 3 : Publications choisies

Blanc, I., Friot, D., Jolliet, O., Margni, M., «Towards a new index for environmental sustainability based on a DALY weighting approach», *Sustainable Development*, 2008, 16, pp. 251-260. DOI: 10.1002/sd.376

Blanc, I., Beloin-Saint-Pierre, D., Payet, J., Jacquin, P., Adra, N., Mayer, D., « Espace-PV: key sensitive parameters for environmental impacts of grid-connected PV systems with LCA », *In Proceedings of the 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 1-5 September 2008, Valencia, Spain, ISBN 3-936338-24-8, pp. 3779-3781. DOI: 10.4229/23rdEUPVSEC2008-6DV.5.9

Piguet, F, Blanc, I., Corbière-Nicollier, T, Erkman, S, « L’empreinte Ecologique : un indicateur ambigu », *Futuribles*, n° 334, pp.5-24. ISSN 0337 307 X, octobre 2007. DOI: 10.1051/futur:20073345

Schwab Castella, P., Blanc, I., Gomez M., Ecabert, B., Wakeman, M., Manson, J-A., Emery, Han, S-Ho, D., Hong, J., Jolliet, O. “Integrating life cycle costs and environmental impacts of composite car-bodies for a Korean train”, *International Journal of LCA*, 2009, 14, n° 5, pp. 429-442. DOI: 10.1007/s11367-009-0096-2

Rousseaux, P., Labouze, E., Young-Jin Suh, Blanc, I., Gaveglia, V., Navarro, A., « An overall assessment of Life Cycle Inventory Quality – application to the production of polyethylene bottles », *International Journal of LCA*, 2001, 6, n°5 pp. 299-306. DOI: 10.1007/BF02978792

Polster B., Peuportier B., Blanc I., Diaz Pedregal P., Gobin C., Durand E, « Evaluation of the environmental quality of buildings towards a more environmentally conscious design », *Solar Energy*, 1996, 57, n°3, pp. 219-230. [DOI : 10.1016/S0038-092X\(96\)00071-0](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(96)00071-0)

